



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2008

**Giselle Nunes Cabral
Carvalho**

**Estudo de soluções para uma escola em blocos de
terra crua: Camabatela**



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2008

**Giselle Nunes Cabral
Carvalho**

**Estudo de soluções para uma escola em blocos de
terra crua: Camabatela**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Humberto Salazar Amorim Varum e do Professor Aníbal Guimarães da Costa do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Aos meus Pais e ao meu Namorado

o júri

Prof. Dr. Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto

professor auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Aníbal Guimarães da Costa

professor catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Paulo Barreto Cachim

professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Humberto Salazar Amorim Varum

professor auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de uma forma directa ou indirecta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Começaria pelo Professor Humberto Varum, a quem agradeço antes de mais, por me ter envolvido no lindo projecto no qual este trabalho se baseia. Agradeço também por todos os ensinamentos que me transmitiu com paciência e dedicação.

Ao Professor Aníbal Costa pela orientação, disponibilidade e partilha de conhecimentos que se mostraram essenciais para o desenvolvimento desta tese.

Ao Professor Fernando Rocha, gostaria de expressar a minha gratidão pelos ensinamentos transmitidos e pela disponibilidade demonstrada.

À Eng. Denise e Eng. Cristina Sequeira, pela realização dos ensaios de difracção de raios X.

Aos elementos da Organização Missanga, em especial, ao Arq. Luís Mata, ao Eng. Luís Pedroso e à Sr^a. Vanessa Cândido, pela disponibilização de material sem o qual seria impossível a realização deste trabalho.

Aos colegas Henrique e Kapila agradeço a preciosa colaboração na produção dos adobes e BTC.

À Dora, pela disponibilização de material e pela amizade demonstrada.

Ao Hugo, pela disponibilidade e pelas palavras de coragem nos momentos difíceis.

Ao meu amigo Carlos César pela preciosa ajuda e disponibilidade.

À Eng. Elsa e ao Sr. Raul, pela paciência e compreensão.

Ao meu amigo Rui Vieira, um agradecimento especial pelo valioso auxílio e pelo carinho demonstrado.

À minha Família, em especial aos meus pais pelo apoio incondicional e pela confiança que depositaram no meu trabalho.

Ao meu Namorado Paulo pelo carinho, paciência e total dedicação em todos os momentos, bons e menos bons.

A todos o meu sincero obrigado.

Palavras-chave

Construção em terra, Camabatela, Angola, Patologias em construções em terra, Retracção, Erosão, Estruturas tradicionais de cobertura

Resumo

O trabalho apresentado nasceu como resultado da necessidade de criar melhores condições do espaço escolar no perímetro da missão dos Frades Menores Capuchinhos em Camabatela, Angola.

Com um número significativo de alunos, estimado em 2000, a escola existente não responde às necessidades e exigências, não só pela limitada área dos espaços disponíveis, como pela falta de qualidade desses mesmos espaços.

Foi então lançado o projecto “Construção com Formação”, coordenado pela ONGD portuguesa "Organização Missanga", em parceria com a Vice-Província angolana da Ordem dos Frades Menores Capuchinhos, na Missão de Camabatela e com a Universidade de Aveiro, com o intuito de elaborar um projecto para a construção de novas instalações escolares que satisfaçam as necessidades actuais.

Dadas as exigências associadas a este futuro complexo escolar, vários estudos de viabilidade e projectos prévios foram desenvolvidos. Desde o início do desenvolvimento do projecto, a equipe dinamizadora impôs como ponto de partida que na construção da nova escola se utilizassem os materiais naturais locais e se recorresse às técnicas e ao saber construir da região.

O trabalho desenvolvido nesta tese de mestrado teve como base a informação recolhida numa visita técnica a Camabatela, e ensaios sobre amostras dos solos mais usados na produção de adobe na região.

Com base no registo fotográfico e descritivo das patologias mais comuns nas habitações em adobe existentes na Vila de Camabatela, apresentam-se e discutem-se propostas de soluções técnicas para evitar estas anomalias.

Com recurso a ensaios difracção de raios X, sobre as amostras de solo recolhidas procurou-se interpretar a causa da elevada retracção observada nos adobes e argamassas de Camabatela e sugerir uma solução que permita reduzir este fenómeno, causador de muitas patologias estruturais.

Foram desenvolvidos protocolos experimentais, baseados nas normas Novazelandesas e Australiana, que permitiram avaliar a resistência à erosão dos adobes pela água da chuva (método de Geelong), assim como identificar solos impróprios para uso na construção em terra crua.

Foi também estudada uma solução de cobertura da escola, tirando partido dos materiais disponíveis localmente, a madeira de eucalipto para a estrutura e um revestimento em telha a ser produzida na própria missão.

Keywords

Earth construction, Camabatela, Angola, Defects in earth construction, Srinkage, Erosion, Traditional roof structures

abstract

This study was motivated by the need to create better conditions on the school of the Frades Menores Capuchinhos mission's, in Camabatela, Angola.

With a significant number of students, esteemed in 2000, the existing school does not guaranties the actual needs and requirements, not just due to the reduced area, but also because the inadequate quality of these facilities.

Therefore, the project “Construção com Formação”(Construction with Training) was launched, co-ordinated by the Portuguese ONGD "Organização Missanga"; in partnership with the Angolan Vice-Province of the religious order “Ordem dos Frades Menores Capuchinhos”, in Camabatela Mission, and with the University of Aveiro, in Portugal, with the main objective of build new school facilities to meet the present needs. Due to the requirements for the future school facilities, some feasibility studies and preparatory research were developed.

Since the beginning of the project development, the leading team imposed as starting point that, the local natural materials and resources, as well as, the local construction techniques and know-how should be enforced in the construction of the new school.

The work presented in this thesis is based firstly on information collected in a technical visit to Camabatela, and secondly on the tests performed on soil samples of the most used soil in the adobe production in the region of Camabatela. Based on photographic documentation and on the visual characterization of the most common pathologies and defects in the existing adobe houses in the Village of Camabatela, technical solutions to prevent these anomalies were proposed.

The soil samples collected were analysed through the X-ray diffraction tests. With the results of these tests, it were deduced the main cause of the high level of shrinkage observed in the adobes and mortars used in Camabatela. Based on the tests results, are suggested possible solutions to reduce this phenomenon, which cause many structural pathologies in the adobe constructions.

Experimental tests had been developed, based on the New Zealand and Australian standards, to evaluate the resistance to the adobe to erosion caused by rain water (Geelong method).

Finally, a traditional solution for the school roof system was studied and proposed, based on the available local materials, namely, the wood of eucalypt for the roof structure and ceramic tiles.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1.1 Introdução	1
1.2 Objectivos	1
1.3 Organização da dissertação.....	3

CAPÍTULO 2 - A CONSTRUÇÃO EM TERRA

2.1 Construção em Terra no Mundo	5
2.2 Evolução da Habitação tradicional Angolana.....	8
2.3 Construção em Camabatela	10

CAPÍTULO 3 - IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PATOLOGIAS MAIS COMUNS NAS HABITAÇÕES DE ADOBE EM CAMABATELA

3.1 Introdução	13
3.2 Patologias comuns e outros problemas	13
3.2.1 Beirados	13
3.2.2 Padieiras com vãos excessivos	16
3.2.3 Retracção	19
3.2.4 Outros problemas - cobertura	21

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DO FENÓMENO DE RETRACÇÃO DOS SOLOS DE CAMABATELA

4.1 Introdução	23
4.2 Ensaaios realizados "in-situ"	23
4.3 Análise por difracção de raios X.....	25
4.3.1 Descrição do ensaio por difracção de raios X.....	26
4.3.2 Resultados da difracção de raios X.....	27
4.4 Conclusões dos resultados de ensaio	33
4.5 Solução para diminuir o fenómeno de Retracção	34

CAPÍTULO 5 - COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE ADOBES E BTC NA PRESENÇA DE ÁGUA

5.1 Introdução	37
5.2 Considerações relativas à produção dos adobes e BTC	37
5.3 Ensaio de durabilidade - Teste de erosão pelo método de Geelong.....	40
5.3.1 Objectivos do ensaio.....	40
5.3.2 Descrição geral do ensaio	40
5.3.3 Resultados.....	41
5.3.3.1 Adobes	41
5.3.3.2 BTC's.....	42
5.3.4 Conclusões	43
5.4 Ensaio de avaliação do ciclo húmido/seco	46
5.4.1 Objectivos do ensaio.....	46
5.4.2 Descrição geral do ensaio	46
5.4.3 Resultados.....	47
5.4.3.1 Adobes	47
5.4.3.2 BTC's.....	48
5.4.4 Conclusões	49

CAPÍTULO 6 - APRESENTAÇÃO DO PROJECTO DA ESCOLA E DE UMA POSSÍVEL SOLUÇÃO PARA A COBERTURA

6.1 Introdução	51
6.2 Descrição geral do projecto da nova escola.....	52
6.2.1 Caracterização Biofísica da zona de Intervenção	52
6.2.2 Delimitação da área de implantação da escola e caracterização do espaço envolvente.....	53
6.2.3 Organização geral do novo espaço escolar.....	56
6.3 Proposta para a cobertura dos edifícios da escola	57
6.3.1 Escolha da solução estrutural	57
6.3.2 Características dos materiais	58
6.3.2.1 Telha	58
6.3.2.2 Madeira.....	58

6.3.3 Dimensionamento	59
6.3.3.1 Cálculo das acções de dimensionamento	59
6.3.3.2 Considerações de dimensionamento e secções dos elementos	59

CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E POSSÍVEIS TRABALHOS FUTUROS

7.1 Considerações finais	61
7.2 Conclusões	62
7.3 Possíveis linhas de desenvolvimento futuro	63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1: Muralha da China	5
Figura 2.2: Cidade de Shibam.....	6
Figura 2.3: Construção com a técnica de pau-a-pique.....	7
Figura 2.4: Construção bandeirante - casa do Butantã	7
Figura 2.5: Cubata redonda sem divisória	8
Figura 2.6: Cubata quadrada com divisória	9
Figura 2.7: Tipologia de habitação amplamente praticada em Camabatela:	10

CAPÍTULO 3

Figura 3.1: Patologias devido à água	14
Figura 3.2: Comprimento mínimo do beirado	14
Figura 3.3: Ilustração do sistema de drenagem.....	15
Figura 3.4: Dimensões recomendadas para a vala de fundação.....	16
Figura 3.5: Padieira deformada devido ao comprimento excessivo do vão	17
Figura 3.6: Rotura do material originado por entregas insuficientes.....	17
Figura 3.7: Dimensões indicadas para paredes e vãos.....	18
Figura 3.8: Dimensões da secção transversal da padieira.....	18
Figura 3.9: Separação entre adobes devido à retracção da argamassa.....	20
Figura 3.10: Destacamento do reboco	20
Figura 3.11: Solução para evitar o levantamento do revestimento.....	21

CAPÍTULO 4

Figura 4.1: Retracção da argamassa.....	23
Figura 4.2: Ilustração do fenómeno de retracção.....	24
Figura 4.3: Esquema de um difractómetro de fonte linear	26
Figura 4.4: Esquema de um difractograma	27
Figura 4.5: Difractogramas “Amostrax”	29
Figura 4.6: Difractogramas “Lamx nat”	31
Figura 4.7: Difractogramas “Lamx gly”	32

Figura 4.8: Coloração dos três tipos de solo:.....	34
Figura 4.9: Extracção de areia no terreno da missão.....	35

CAPÍTULO 5

Figura 5.1: Areeiro do Montinho.....	38
Figura 5.2: Adobeiro de dois adobes	38
Figura 5.3: Adobes produzidos no laboratório	39
Figura 5.4: Sistema experimental do ensaio de erosão pelo método de Geelong	41
Figura 5.5: Erosão provocada pelo impacto das gotas:	43
Figura 5.6: Capacidade de absorção de água.....	45
Figura 5.7: Face dos blocos com estabilizante após 6 ciclos: (a) adobes; (b) BTC	49
Figura 5.8: ensaio do ciclo húmido/seco:	50

CAPÍTULO 6

Figura 6.1: Posicionamento da Vila de Camabatela no mapa de Angola.....	52
Figura 6.2: Planalto de Camabatela no mês de Fevereiro	53
Figura 6.3: Localização dos complexos escolares no espaço envolvente	54
Figura 6.4: Degradação interior e exterior da escola existente na missão.....	55
Figura 6.5: Zona de implantação da escola	55
Figura 6.6: Organização do novo espaço escolar	56
Figura 6.7: Planta estrutural da cobertura.....	57
Figura 6.8: Desenho esquemático da cobertura.....	58

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1: Valores do dimensionamento da padieira.....	19
---	----

CAPÍTULO 4

Tabela.4.1: Valores médios da retracção para os três tipos de solos	24
Tabela 4.2: Percentagem de retracção	25

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1: Resultados para os adobes da série A (só de terra).....	41
Tabela 5.2: Resultados para os adobes da série B (10:1).....	41
Tabela 5.3: Resultados para os adobes da série C (5:1).....	42
Tabela 5.4: Resultados para os BTC's da série D (só de terra)	42
Tabela 5.5: Resultados para os BTC's da série E (10:1)	42
Tabela 5.6: Resultados para os BTC's da série F (5:1)	42
Tabela 5.7: Índices de erodibilidade para o teste da erosão pelo método de Geelong	43
Tabela 5.8: Índice de erodibilidade para cada série de blocos de terra.....	44
Tabela 5.9: Interpretação do teste da erosão pelo método de Geelong.....	44
Tabela 5.10: Selecção do material em função da capacidade de absorção de água.....	45
Tabela 5.11: Resultados para os adobes da série A (só de terra).....	47
Tabela 5.12: Resultados para os adobes da série B (10:1).....	47
Tabela 5.13: Resultados para os adobes da série C (5:1).....	47
Tabela 5.14: Resultados para os BTC's da série D (só de terra)	48
Tabela 5.15: Resultados para os BTC's da série E (10:1)	48
Tabela 5.16: Resultados para os BTC's da série F (5:1)	48

CAPÍTULO 6

Tabela 6.1: Resumo das verificações para cada elemento	60
Tabela 6.2: Resumo das secções dos elementos da cobertura	60

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Após mais de 30 anos de guerra, colonial e depois civil, Angola enfrenta hoje um grande desafio, reconstruir as infra-estruturas, motor de desenvolvimento económico e reconquistar os valores e a autoconfiança do seu povo. A guerra e as condições de sobrevivência que ela criou, provocou a perda de várias vidas assim como da cultura construtiva. O “saber fazer” que é a fonte do conhecimento transmitida oralmente de geração em geração perde a sua continuidade.

Angola reúne valores culturais imensos na construção em terra. A tipologia construtiva baseia-se essencialmente na técnica do adobe e em alguns lugares na técnica do bahareque. Hoje a construção em terra não é uma técnica com qualidade, mas sim uma técnica utilizada para resolver o problema temporário de residência (Ganduglia, 2005).

Confrontados com esta realidade, torna-se urgente devolver às gerações actuais o conhecimento da arte de construir em terra, permitindo-lhes realizar projectos de maior envergadura capazes de subsistir por vários anos, de forma a facilitar o desenvolvimento pessoal e comunitário.

1.2 OBJECTIVOS

O presente trabalho insere-se no projecto “Construção com Formação” desenvolvido pela organização Missanga em cooperação com a Universidade de Aveiro, cujo objectivo principal é desenvolver soluções construtivas a aplicar no projecto de um novo complexo escolar que se pretende desenvolver a encargo da Ordem dos Frades Menores Capuchinhos e que visa servir 2000 crianças na vila de Camabatela.

A utilização de blocos de terra crua, inicialmente o adobe e numa fase mais avançada da obra o BTC, permite enquadrar a nova escola na arquitectura tradicional da vila, acrescentando maior valor e respeito pelas técnicas ancestrais. A oportunidade de transmissão dos conhecimentos que resulte na melhoria da técnica construtiva que se degradou ao longo do tempo devido aos largos anos de guerra em que Angola viveu, constitui outra mais valia deste projecto.

Como ponto de partida para o desenvolvimento deste trabalho, é apresentado no Capítulo 3 o resultado de um levantamento realizado às construções locais com o objectivo de recolher informações sobre o método de construção e as principais patologias recorrentes de vários problemas associados aos materiais utilizados, ao processo construtivo entre outros.

A elevada retracção dos solos de Camabatela está na origem de algumas patologias como o destacamento do reboco e a disjunção entre argamassa e adobes. Com o objectivo de compreender a génese deste fenómeno e encontrar uma solução que o minimize, foi realizado um estudo baseado em resultados de ensaios por difracção de raios X, apoiados por ensaios “in-situ” e por dados geofísicos do local.

O conhecimento do comportamento deste tipo de construção na presença da água constitui outro aspecto a ter em conta na elaboração do projecto da obra a realizar. Para isso, foram desenvolvidos dois protocolos experimentais baseados em normas Neozelandesas e Australianas que visam avaliar a erosão causada pelo impacto da água da chuva na face dos blocos exposta às intempéries bem como o comportamento ao ciclo húmido/seco. Com este tipo de análise é possível otimizar as misturas para a produção de adobes e BTC, aperfeiçoando consequentemente a qualidade da construção.

A cobertura também foi alvo de estudo, uma vez que o recurso às chapas de zinco apresentava inúmeros inconvenientes. Assim, optou-se por desenvolver uma cobertura, cujos materiais da estrutura e do revestimento fossem oferecidos pela natureza e portanto económicos e que permitisse atingir os parâmetros mínimos de conforto térmico e acústico no interior das salas, bem como manter a harmonia da construção.

Para além dos objectivos específicos traçados para a elaboração deste trabalho, existe outro mais geral, mas não menos importante que pretende sensibilizar as pessoas para as potencialidades da construção em Terra e o contributo que esta pode ter na melhoria da qualidade de vida dos povos carenciados.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada em sete capítulos. Neste primeiro capítulo é apresentada uma introdução, seguindo-se a exposição dos objectivos deste trabalho.

No Capítulo 2 são apresentados dados históricos relativos à construção em terra, começando por falar da construção em terra no mundo, passando pelo desenvolvimento da habitação tradicional Angolana e especificando com a construção encontrada em Camabatela.

No Capítulo 3 é apresentado os dados de uma visita técnica efectuada ao local com o intuito de recolher o máximo de informações possíveis sobre o terreno onde se pretende implantar a futura escola, assim como fazer um levantamento “in-situ” dos métodos construtivos e patologias encontradas nas habitações existentes na vila.

O Capítulo 4 contempla um estudo mais aprofundado do fenómeno de retracção dos solos de Camabatela introduzido no capítulo anterior, apresentando igualmente uma sugestão de intervenção.

No Capítulo 5 é apresentado um estudo baseado em dois protocolos experimentais normalizados e que permitem perceber quais os componentes e suas proporções na mistura que contribuem para o melhor comportamento dos blocos de terra crua quando sujeitos ao impacto das gotas de chuva e a ciclos húmido/seco.

O Capítulo 6 faz uma apresentação do projecto da escola, sua organização e caracterização do espaço envolvente e apresenta uma solução de cobertura que pretende colmatar a maior parte dos problemas encontrados.

Finalmente o Capítulo 8 apresenta algumas considerações finais a todo o trabalho desenvolvido assim como algumas limitações encontradas e sugere alguns trabalhos para desenvolvimento futuro.

CAPÍTULO 2

A CONSTRUÇÃO EM TERRA

2.1 CONSTRUÇÃO EM TERRA NO MUNDO

Desde que o Homem, abandonando o caos dos caminhos da migração, começou a fixar-se nos melhores locais, alinhando as primeiras cercas e erguendo os primeiros abrigos, foi certamente a terra, a terra mãe que fazia germinar as sementes do pão, um dos primeiros materiais que também aprendeu a amassar e moldar para construir (Torres, 2005).

O uso de terra crua tem sua origem nas mais antigas criações do homem, há uns 10 mil anos. Jericó, ao que parece, foi a primeira cidade a ser construída em terra comprovada através de vestígios arqueológicos. Outro exemplo é a Muralha da China, construída a partir do século III a.C. Vale ressaltar a inscrição existente na base de uma pirâmide milenar, perto do Cairo, construída pelo rei Asydis: “Não me despreze comparando-me às pirâmides de pedra: estou tão acima delas como Júpiter acima de outros deuses, por ter sido construída com tijolos feitos de limo do fundo do lago” (Dethier, 1982).



Figura 2.1: Muralha da China [Greenie, 2007]

Dois arquitectos destacaram-se pelo trabalho voltado à difusão da técnica do uso da terra: o francês François Cointereaux, no final do século XIX, e o egípcio Hassan Fathy, no século XX. Cointereaux inventou a nova taipa durante a Revolução Francesa de 1789. Fathy iniciou seu trabalho em 1946 e criou, no Cairo, o Instituto Internacional de Pesquisa de Tecnologias Apropriadas (Félix e Mello, 2006). Declarou: (...) “ Durante anos, durante séculos, o camponês vinha sábia e tranquilamente explorando o material de construção óbvia (...) É verdade que as casas dos camponeses eram acanhadas, escuras, suja e inconvenientes, mas isso não era por culpa dos tijolos de adobe. Não havia nada que não pudesse ser reparado por meio de um bom projecto e de uma vassoura. Então porque não fazer nossas casas de campo com esse material caído do céu?” (Fathy, 1980).

No Mali, na África, as cidades Timbuktu e Djénne destacam-se por suas construções em terra crua. Em 1988, ambas foram reconhecidas como património da humanidade.

No continente asiático as cidades que mais se destacam são Shibam, também conhecida como “Manhattan do deserto” onde muitos prédios têm até 8 pavimentos, situada no lêmén do Sul, e Sanaa, no lêmén do Norte, ambas património da humanidade (Félix e Mello, 2006).



Figura 2.2: Cidade de Shibam [E.A, 2007]

No Brasil as técnicas construtivas do período colonial eram geralmente primitivas, baseadas no trabalho escravo, sem apuro tecnológico e consideradas sem valor. Nos casos mais simples as paredes eram de pau-a-pique, adobe ou taipa de pilão e nas residências

mais importantes, empregava-se pedra e barro, raramente tijolos ou ainda pedra e cal (Reis Filho, 1995).



Figura 2.3: Construção com a técnica de pau-a-pique [I.V., 2008]

No interior de São Paulo, a taipa de pilão foi mais usada inicialmente, caracterizando as construções bandeirantes como elemento de valor no quadro do património cultural paulista (Félix e Mello, 2006).



Figura 2.4: Construção bandeirante - casa do Butantã [Rubies, 2008]

Um pouco por todo o mundo é possível encontrar construções em terra representativas das várias técnicas desenvolvidas ao longo dos séculos.

Por ser um material económico, com boas características térmicas e acústicas e principalmente biológico, a terra continua a conseguir manter o seu lugar no mundo da construção.

Os problemas económicos de vários países subdesenvolvidos e as preocupações ambientais cada vez maiores, tem funcionado como impulsionadores na investigação e melhoria das técnicas de construção em terra que a cada dia que passa ganha mais força.

2.2 EVOLUÇÃO DA HABITAÇÃO TRADICIONAL ANGOLANA

A habitação tradicional Angolana evoluiu a partir da modesta cubata até aos actuais Musseques de Luanda, que resumem em si o tipo de casa destribalizada, suburbana.

Concebida para acompanhar as tribos nómadas que procuravam estabelecer-se na proximidade de água, de terra fértil, da savana de caça, da mata do café, as cubatas eram desmontáveis e fáceis de transportar. As tipologias eram diversas e dependiam de uma série de factores, entre eles a localização geográfica, onde a predominância de chuvas fortes e a matéria-prima existente tornaram-se os aspectos mais relevantes. Genericamente, as cubatas possuíam uma forma circular e eram desprovidas de divisórias no seu interior. A sua função resumia-se ao abrigo da cama e de uma pequena fogueira (Figura 2.5).

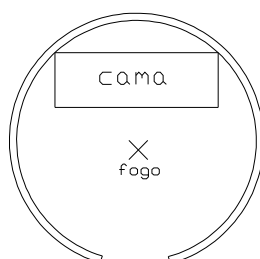


Figura 2.5: Cubata redonda sem divisória [adaptado de Redinha, 1964]

Com a mobilização agrícola e pecuária as tribos foram se sedentarizando e criando novas tipologias de habitação. Surgiu então a cubata com planta rectangular (Figura 2.6). Esta tipologia para além da porta exibia, aqui e ali, alguns postigos (esboços de janelas) e rudimentos de decoração e pinturas murais. O seu interior era normalmente constituído por dois compartimentos, o quarto de dormir e uma arrecadação para a recolha nocturna de animais domésticos.

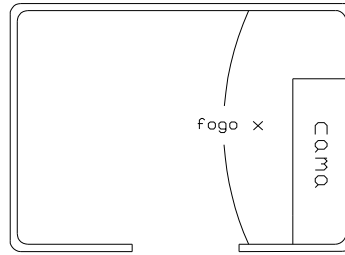


Figura 2.6: Cubata quadrada com divisória [adaptado de Redinha, 1964]

Aos poucos a tipologia étnica de construção foi desaparecendo nas zonas suburbanas, dando lugar a um padrão comum, com um espírito prático e económico, onde se torna evidente a mistura dos materiais tradicionais com os utilizados na construção Europeia. Começa a surgir um novo conceito de habitação. Até aqui, as cubatas apresentavam um papel de abrigo nocturno, estando por isso isentas de espaços com grande complexidade. A cozinha ocupava um espaço comum, onde se cozinhava em grupo.

Com as alterações do modo de vida das populações, a estrutura e a função da habitação ganhou uma nova vida. Esta fase intermédia de evolução é marcada pela criação do mais importante anexo, o pátio ou quintal. Aqui se instala a cozinha, sob um alpendre ou um simples coberto de esteiras. Em alguns casos, pode ainda existir um retiro para a latrina e outro para banho.

Acompanhando as modificações atrás mencionadas, as construções sofreram também várias outras alterações, podendo referir-se o aumento do pé direito, o acrescento do número de janelas vistas também como elemento decorativo, o uso de novos materiais como os pregos para aplicação em madeira, alvenarias em adobe, entre outras.

Chega-se assim à última fase evolutiva, a fase actual. Neste momento Angola encontra-se cravejada de marcas da aculturação. A habitação reflecte bem este fenómeno. Marcada pelo uso de novos materiais, formas e funções, a construção actual adquire uma filosofia de lar individualizado, contrastando com a serventia colectiva da natureza. Actualmente encontra-se em várias províncias do país um grande número de habitações realizadas em novos materiais como o adobe, por exemplo, muito utilizado no Centro e Norte, devido às condições climáticas existentes.

Também as coberturas passaram por uma degradada evolução, onde o abandono do colmo foi evidente. Com a proximidade às zonas suburbanas, o colmo tornou-se mais difícil de obter. Para além disso, este material apresentava pouca durabilidade, quando comparada com outros materiais como a chapa de zinco actualmente em voga.

Para rematar, é importante referir que todo este processo evolutivo foi fortemente afectado pelos anos de guerra em que este país viveu. Ainda assim, a “história da casa Angolana, a partir da modesta cubata é uma história de movimento, de forma e até de cor”, que marcou e continua a marcar a todos que neste país maravilhoso estiveram.

2.3 CONSTRUÇÃO EM CAMABATELA

Com a chegada dos colonos Portugueses, muitos hábitos mudaram em Angola. O conceito de habitação, assim como os materiais aplicados na sua construção sofreram grandes alterações. O emprego de alvenarias de adobe tornou-se numa das mais marcantes heranças deixadas na construção.

À medida que os anos foram passando, novos materiais chegavam do continente, Europeu, como sendo o betão e mais tarde o aço. Houve então um abandono progressivo, pelas classes mais favorecidas, da utilização da terra como matéria-prima para a construção das suas habitações. Contrariamente, nas classes mais desfavorecidas, onde o acesso aos novos materiais era restrito, o adobe tornou-se um dos materiais de eleição, difundindo-se por todo o país.

Na província do Kwanza Norte, na vila de Camabatela, é possível encontrar vários exemplares desta tipologia construtiva (Figura 2.7).



(a)

(b)

Figura 2.7: Tipologia de habitação amplamente praticada em Camabatela:

(a)Alvenaria de adobe rebocada exteriormente; (b)Alvenaria de adobe sem reboco exterior

Apesar de amplamente praticada, a construção em adobe sofre hoje de graves problemas associados a um deficiente processo construtivo. O “saber fazer” constituía a fonte do conhecimento, que era transmitido de geração em geração. Após tantos anos de guerra esta continuidade perdeu-se e a técnica da construção em terra degrada-se. Actualmente o recurso a este material permite resolver o problema associado à falta de residência, não sendo no entanto uma escolha, mas sim a única opção.

CAPÍTULO 3

IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PATOLOGIAS MAIS COMUNS NAS HABITAÇÕES DE ADOBE EM CAMABATELA

3.1 INTRODUÇÃO

A construção em alvenaria de adobe é a técnica construtiva mais frequentemente utilizada na arquitectura popular em Angola. Amplamente utilizada também em todo o mundo, conhece, hoje, um interesse que lhe advém quer da valorização do património construído existente, quer da reduzida quantidade de energia gasta na construção (relativamente a outras técnicas) quer, ainda, de qualidades inerentes ao próprio material em termos de resistência mecânica, de comportamento higró-térmico e de flexibilidade de adaptação a múltiplas situações de construção. O seu estudo tecnológico impõe-se hoje, pelo reconhecimento efectivo do seu interesse enquanto material de construção, retomando-se um processo milenar de evolução que foi interrompido nas últimas décadas, pela generalização do recurso à estrutura em betão armado.

Com o intuito de identificar indícios de desgaste e patologias foram analisadas uma série de construções existentes na Vila de Camabatela. Constatou-se que a técnica construtiva manifesta algumas deficiências que deverão ser corrigidas, de modo a garantir uma melhor resistência às diversas acções a que estão sujeitas.

3.2 PATOLOGIAS COMUNS E OUTROS PROBLEMAS

3.2.1 Beirados

Uma construção de qualidade exige antes de mais um suporte eficaz e duradouro. Graças aos deficientes processos construtivos, muitas das habitações em terra acabam por sofrer de patologias associadas essencialmente à existência de água (Figura 3.1). A água,

combinada com o vento pode funcionar como um agente erosivo de grande relevância das superfícies expostas ao meio exterior, assim como a ascensão de água por capilaridade que arrasta sais prejudiciais à qualidade dos adobes.

As patologias encontradas nas fundações estão não só relacionadas com a qualidade dos adobes utilizados, mas também são fortemente condicionadas pelo processo construtivo. De facto, a observação de uma grande parte das habitações existentes no perímetro da missão permitiu concluir que a existência dos beirados curtos constitui um ponto de fragilidade destas construções.



Figura 3.1: Patologias devido à água: (a) erosão da base das paredes; (b) fenómeno de capilaridade

A inexistência de beirados bem dimensionados permite que o impacto directo das gotas sobre os adobes seja mais violento, resultando no destacamento de algum material e consequentemente acelerando o processo de erosão.

Várias referências bibliográficas a respeito deste tema sugerem dimensões mínimas para o comprimento dos beirados. No “Manual para la construccion de viviendas de adobe” (Morales et al., 1993), é indicado um comprimento mínimo que permite escoar a água das chuvas para além de 50 cm de distância das paredes (Figura 3.2).



Figura 3.2: Comprimento mínimo do beirado [Morales et al., 1993]

A ascensão da água por capilaridade é também um fenómeno comum em paredes de terra crua, bastante visível nas construções em Camabatela. A sua ocorrência está na origem de inúmeras patologias que podem ser mais gravosas quando acompanhada pelo transporte de sais.

A ascensão capilar com transporte de sais contribui para o aumento das cavidades no interior do material e está na origem de lacunas superiores até ao nível onde se verifica a ascensão da água. A expansão e retracção dos sais arrastados pela água geram tensões no interior do material que levam à sua fissuração.

A eliminação deste problema passa por desenvolver um sistema de drenagem periférica que se revele simples na execução e na manutenção.

Inicialmente pensou-se em executar as fundações sobre uma vala de dimensões a definir, revestida por betão ciclópico, sobre o qual seria disposta uma camada de pedra que funcionaria como dreno. Por se mostrar uma solução dispendiosa dada a inexistência destes materiais naquela zona, encontrou-se outra maneira que permitisse manter a água distante das paredes. A ideia é criar uma pequena inclinação de 5% no terreno circundante à construção terminando com um sistema de valas que permitem escoar a água das chuvas. A vala deverá estar alinhada com a extremidade do beirado de forma a otimizar o sistema (Figura 3.3).

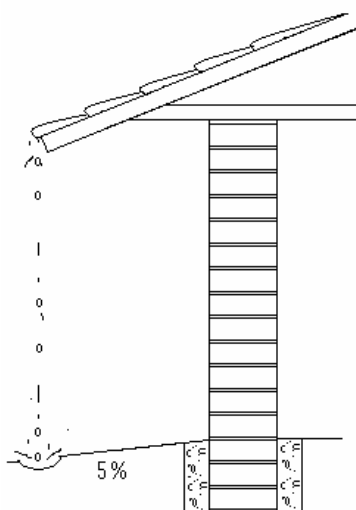


Figura 3.3: Ilustração do sistema de drenagem

De acordo com a filosofia deste projecto, pretende-se que todo o sistema recorra o mais possível à matéria-prima existente no local, neste caso à terra. Com a ajuda de um pilão manual, o solo é bem compactado criando uma superfície sólida e resistente.

A fundação deverá ser desenvolvida a partir de uma vala de largura igual à espessura de dois adobes adicionada de 20 cm e altura mínima de 40 cm (Figura 3.4). Tendo em conta que os adobes de Camabatela são estreitos (20 cm de largura) o ideal será recorrer a paredes exteriores com duas fiadas de adobes. Assim a vala deverá ter 60 cm de largura e 45 cm de altura admitindo que para a fundação serão utilizados 2 adobes (40 cm x 20 cm x 20 cm) e 5 cm de argamassa para juntas e assentamento do 1º adobe.

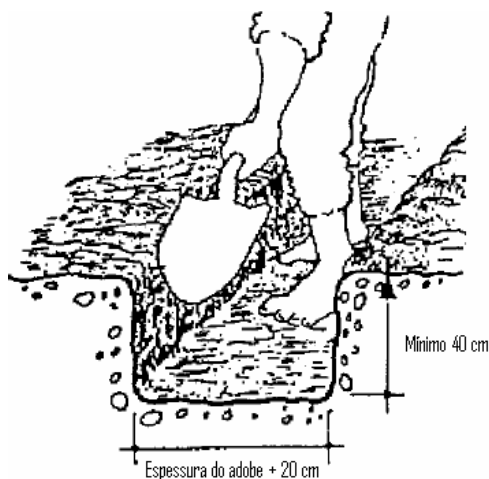


Figura 3.4: Dimensões recomendadas para a vala de fundação [Morales et al., 1993]

3.2.2 Padieiras com vãos excessivos

Outro problema comum das habitações existentes na Vila é a existência de padieiras com vãos de elevado comprimento e entregas insuficientes, permitindo a longo prazo a formação de flechas exageradas (Figura 3.5).



Figura 3.5: Padieira deformada devido ao comprimento excessivo do vão

Quando as entregas não tem dimensão suficiente, a transferência de carga da padieira para a alvenaria de adobe aproxima-se a uma carga pontual. De facto, este material não está preparado para receber cargas deste tipo, acabando por entrar em rotura (Figura 3.6).



Figura 3.6: Rotura do material originado por entregas insuficientes

De acordo com o “Manual para la construccion de viviendas de adobe” (Morales et al., 1993), as entregas nunca devem apresentar um comprimento inferior a 40 cm, estando o seu comprimento condicionado à largura do vão (Figura 3.7).

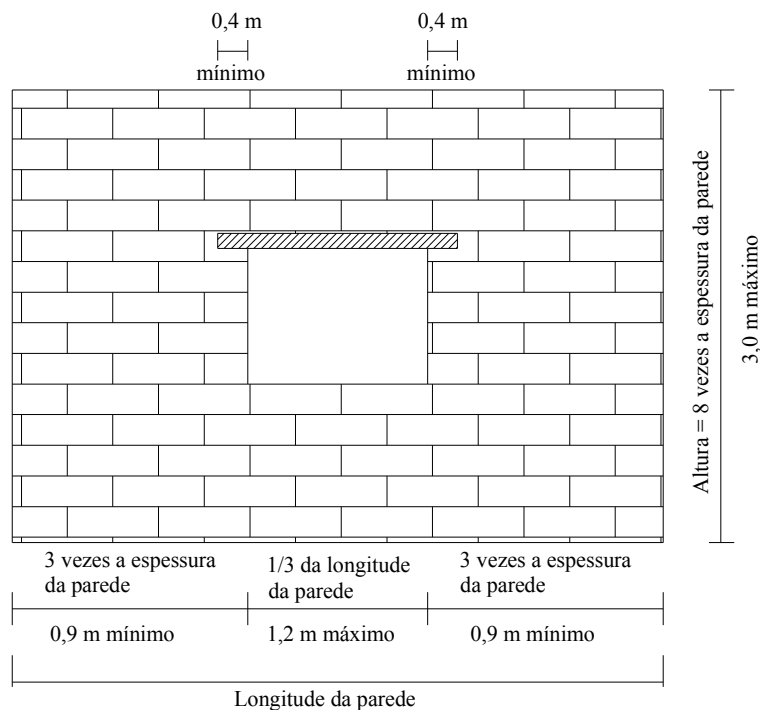


Figura 3.7: Dimensões indicadas para paredes e vãos [adaptado de Morales et al., 1993]

Para resolver o problema da elevada deformação da flecha e manter esteticamente o desenho da janela, pensou-se numa solução simples que consiste em dois barrotes ligados a uma tábua (Figura 3.8), conferindo a todo o conjunto uma rigidez elevada capaz de resistir às cargas actuantes. Feito o dimensionamento obteve-se uma secção transversal com barrotes quadrados de 6 cm x 6 cm e uma tábua de 2 cm x 40 cm, cujos valores de resistência e deformação constam na Tabela 3.1.

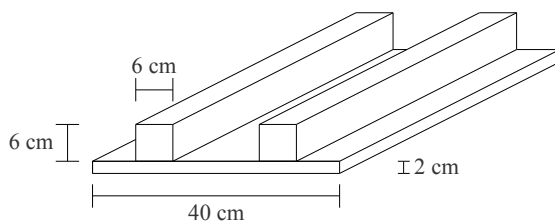


Figura 3.8: Dimensões da secção transversal da padieira

Tabela 3.1: Valores do dimensionamento da padieira.

	P (kN/m)	L (m)	Msd (kN.m)	Mrd (kN.m)	E (MPa)	f (cm)	$f_{máx}$ (cm)
Tábua + barrotes	1,96	2	0,2	1,89	17500	0,41	0,51

Nota: No dimensionamento da padieira utilizou-se um peso correspondente a 10 adobes (supondo duas fiadas). Segundo a informação dos produtores locais, os adobes de Camabatela pesam em média 20 kg.

O momento actuante e da flecha foram calculados pelas seguintes fórmulas (Tabelas Técnicas, 2005):

$$M_{l/2} = \frac{PL}{2} \left(\frac{L}{4} - a \right) \quad \text{Momento a meio vão}$$

$$f_{l/2} = \frac{PL^4}{24EI} \left(\frac{5}{16} - \frac{5a}{2L} - 6\frac{a^2}{L^2} - 4\frac{a^3}{L^3} - \frac{a^4}{L^4} \right) \quad \text{Flecha a meio vão}$$

em que:

a - representa o comprimento das entregas $a = 0,4m$

P - peso dos adobes

L - comprimento da padieira

3.2.3 Retracção

O fenómeno da retracção é muito comum nas construções em terra. A sua ocorrência origina inúmeras patologias como fissuras, destacamento da camada de reboco, separação dos elementos estruturais, entre outras. De facto, todas as construções em terra crua na missão apresentam patologias que advém deste fenómeno.

A retracção pode surgir quer nos adobes, quer na argamassa das juntas ou mesmo no reboco. Quando ocorre após o assentamento dos adobes, aparecem brechas nas paredes que

facilitam a penetração da humidade, promovendo a fixação de algumas espécies de plantas e fungos que lentamente degradam a estrutura (Figura 3.9).



Figura 3.9: Separação entre adobes devido à retracção da argamassa

Outra forma da manifestação deste fenómeno consiste no destacamento de camadas de reboco (Figura 3.10). Os solos utilizados na produção dos adobes de Camabatela apresentam uma retratibilidade elevada. É fundamental, para garantir a qualidade e segurança das habitações, que a argamassa de reboco a aplicar nas paredes exteriores tenham uma capacidade de retracção semelhante à do suporte evitando assim que se criem tensões que quebrem as ligações existentes entre o reboco e a parede.



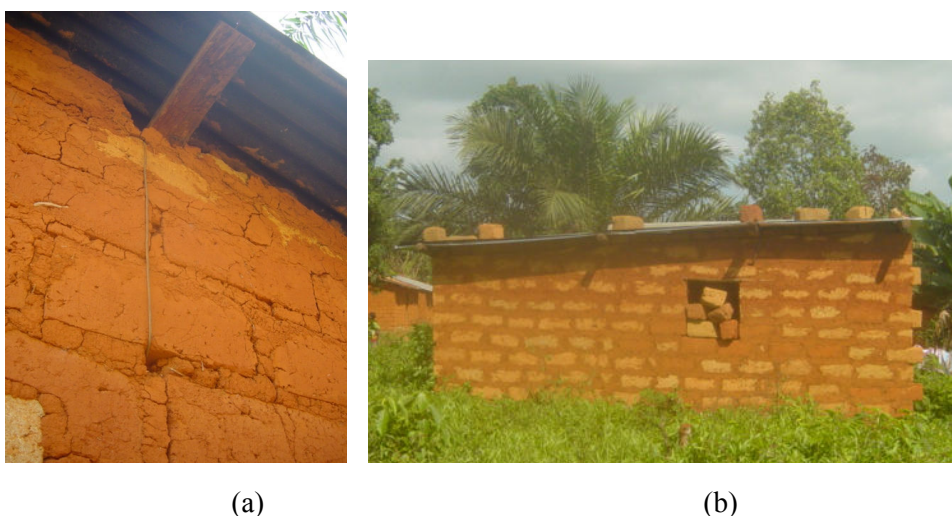
Figura 3.10: Destacamento do reboco

No Capítulo 4 deste trabalho é apresentado um estudo mais aprofundado deste fenómeno para os solos de Camabatela e sugerida uma solução económica e de fácil execução para minimizar a sua ocorrência.

3.2.4 Outros problemas - cobertura

Embora não possa ser considerada uma patologia, a escolha inadequada da cobertura pode dar lugar a inúmeros problemas que conferem à construção um carácter disfuncional e inestético.

Utilizada por quase toda a comunidade, o revestimento adoptado para as coberturas consiste em grandes chapas de zinco suportadas por barrotes de madeira. De forma a evitar o seu levantamento pela acção do vento, estas são amarradas com o auxílio de um arame à alvenaria de adobe e carregadas na face superior com pesos, na grande maioria adobes (Figura 3.11).



(a) amarração da cobertura à alvenaria de adobe; (b) pesos sobre a cobertura

Figura 3.11: Solução para evitar o levantamento do revestimento:

De facto, diversas desvantagens subsistem na escolha deste revestimento. Por ser um material sintético, não se coaduna com a construção em terra, não só por questões estéticas, mas por incompatibilidade de resistência e deformação. Constituída apenas por uma chapa, esta cobertura também não confere qualquer isolamento sonoro ao espaço interior da construção, mostrando-se particularmente desagradável em dias de chuva devido ao impacto das gotas. Este tipo de chapa apresenta também uma capacidade de absorção de

calor significativa, o que em dias de sol forte, torna-se um agravante para o conforto térmico dos espaços interiores, causando o seu sobreaquecimento.

No Capítulo 5 deste trabalho é apresentada uma proposta de cobertura que se enquadra nesta tipologia construtiva e permite satisfazer os requisitos mínimos de conforto térmico e acústico.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DO FENÓMENO DE RETRACÇÃO DOS SOLOS DE CAMABATELA

4.1 INTRODUÇÃO

O fenómeno de retracção nos solos de Camabatela traz alguma preocupação quando se pretende construir uma estrutura em terra, mais especificamente em adobe.

Solos muito retrácteis estão na origem de uma série de patologias que podem por em risco a segurança da estrutura, para além de acelerarem a degradação diminuindo a sua durabilidade (Figura 4.1).



Figura 4.1: Retracção da argamassa

4.2 ENSAIOS REALIZADOS “IN SITU”

Para conhecer alguns parâmetros dos solos utilizados na construção das casas de Camabatela, realizou-se a recolha de cinco amostras em pontos distintos. Após alguns testes efectuados no local, apenas três (os solos 1, 2 e 4) foram classificados como sendo os

mais apropriados para a produção de adobes. Esses constituem então material para o trabalho que se pretende desenvolver.

Para avaliar qualitativamente o fenómeno de retracção nos solos extraídos na proximidade das habitações locais, realizou-se o seguinte ensaio:

- 1) Modelou-se 3 pastilhas para cada tipo de solo com a ajuda de um pedaço de tubo em PVC com 1,5cm de altura e 3 cm de diâmetro interior.
- 2) Com o solo humedecido, preencheu-se os anéis e alisou-se a superfície.
- 3) Deixou-se as pastilhas secar durante 48 horas.
- 4) Mediu-se a retracção



Figura 4.2: Ilustração do fenómeno de retracção

Na Tabela 4.1 encontram-se os valores médios da retracção, representados em cm, para os solos em estudo.

Tabela.4.1: Valores médios da retracção para os três tipos de solos

Solo	Retracção (cm)			
	A1	A2	A3	Média
1	2,5	2,0	2,5	2,33
2	1,5	1,5	1,5	1,50
4	1,5	1,0	1,5	1,33

O procedimento atrás descrito não corresponde ao especificado nas normas, no entanto, para efeitos informativos, procurou-se analisar os resultados obtidos com base em valores normativos existentes para outras tipologias construtivas referidas na “New Zealand Standard” (NZS 4298: 1998).

De forma a ser possível fazer algum tipo de comparação, converteu-se os valores para percentagens da seguinte maneira:

$$Retracção(\%) = \frac{retracção(mm)}{Diâmetro_interior_anel(mm)}$$

Obteve-se os valores apresentados na Tabela 4.2

Tabela 4.2: Percentagem de retracção

Solo	Retracção (%)
1	5,3
2	3,4
4	3,0

Segundo a “New Zealand Standard” (NZS 4298: 1998), a retracção em argamassas não estabilizadas não deve ultrapassar os 3%. Como se pode verificar, qualquer um dos solos em estudo possui valores elevados de retracção.

4.3 ANÁLISE POR DIFRACÇÃO DE RAIOS X

Com o intuito de descobrir a causa da retracção atrás descrita, foi realizada uma análise por difracção de raios X nas amostras do solo 1, 2 e 4. O conhecimento dos minerais constituintes de cada amostra permitiu ainda relacionar parâmetros como o clima, o relevo da zona envolvente assim como a cor dos solos à sua existência.

Na Secção 4.3.1 pretende-se expor resumidamente o funcionamento da difracção de Raios X, de forma a facilitar o entendimento da leitura dos resultados descritos e analisados no desenrolar deste capítulo.

4.3.1 Descrição do ensaio por difracção de raios X

Uma rede cristalina é uma distribuição regular tridimensional de átomos no espaço. Estes estão dispostos numa série de planos paralelos entre si, separados por uma distância d , a qual varia conforme a espécie de mineral. Para cada mineral, existem planos com diferentes orientações, cada uma, com uma distância d particular.

Quando um feixe monocromático de raios X de comprimento de onda λ , incide nos planos da rede cristalina com um ângulo θ , ocorre difracção, se a distância percorrida pelos sucessivos raios reflectidos nos sucessivos planos, diferirem em n comprimentos de onda inteiros.

Lei de Bragg:

$$2 d \sin(\theta) = n \lambda$$

d - afastamento entre dois planos do cristal;

θ - ângulo formado entre os raios do feixe incidente e os planos atómicos reflectores do cristal;

λ - comprimento de onda dos raios X;

n - ordem dos raios X difractados.

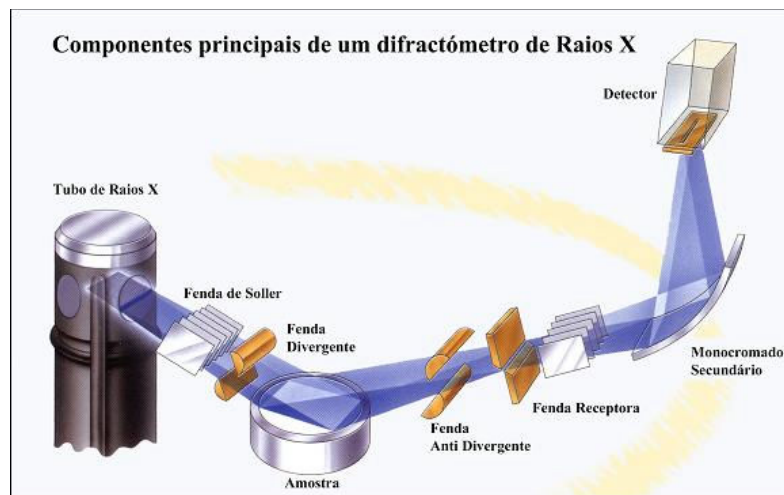


Figura 4.3: Esquema de um difractómetro de fonte linear.

Variando o ângulo de incidência θ , as condições da Lei de Bragg são satisfeitas pelas diferentes distâncias d das espécies cristalinas. O registo das posições angulares dos picos e das intensidades, resultado da difracção, produz um padrão que é característico da amostra (Figura 4.4). Quando uma mistura com diferentes fases é analisada, o difractograma é formado pela adição dos padrões individuais.

Em resultado da difracção originam-se diagramas que diferem de mineral para mineral, dependendo as suas características da equidistância dos planos cristalinos do material.

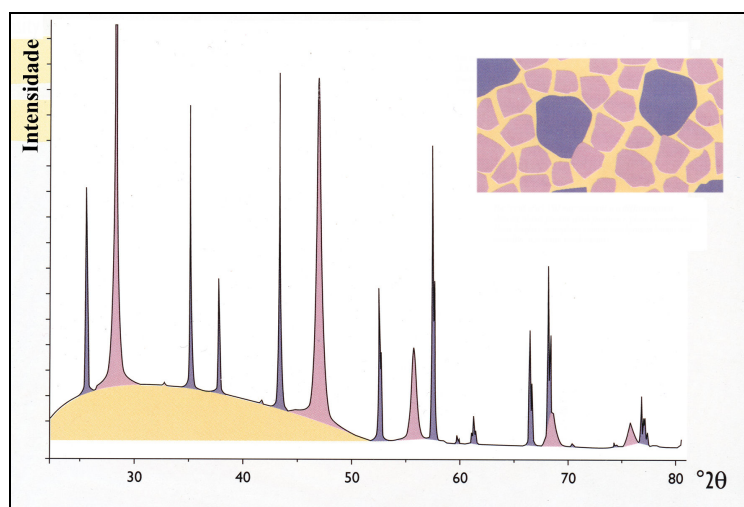


Figura 4.4: Esquema de um difractograma que se pode obter se a amostra fosse constituída pelos espécimes na figura em caixa; mostra as fases presentes (pela posição dos picos); a concentração das fases (pela altura dos picos); conteúdo amorfo (background) e a dimensão dos cristais (pela largura dos picos).

4.3.2 Resultados da difracção de raios X

Para o estudo em questão foram realizados três varrimentos de difracção de raios X para cada amostra. Recorrendo à peneiração via húmida separou-se os solos nas seguintes fracções granulométricas: partículas $< 63 \mu\text{m}$; partículas $> 63 \mu\text{m}$.

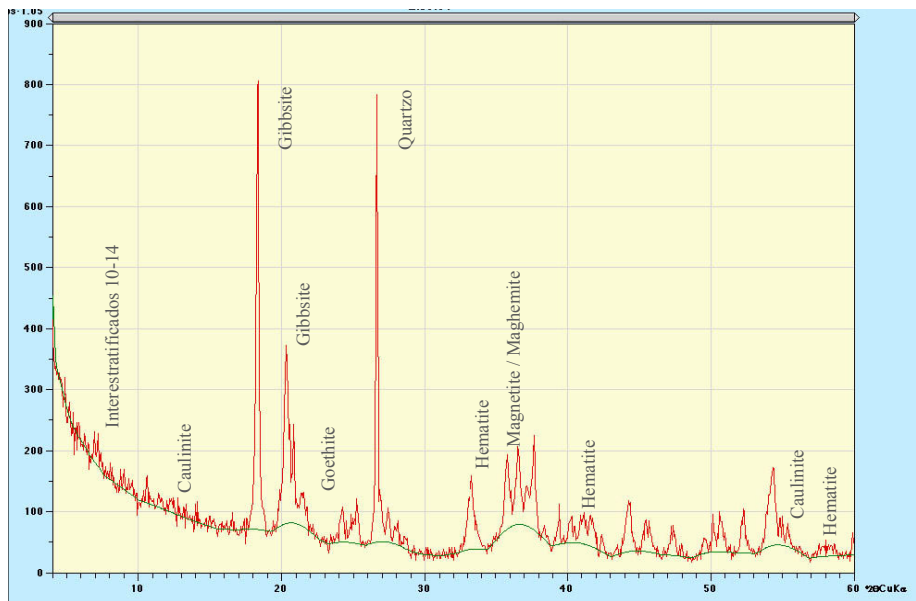
A numeração anexa à denominação de cada difractograma é correspondente à numeração de cada amostra (ex: Amostr1, Lam1 nat., Lam1 gly. correspondem a difractogramas do solo 1).

Foram então analisados por difracção de raios X as amostras $< 63 \mu\text{m}$, denominadas de Amostr1, Amostr2 e Amostr4. Com as amostras $< 2 \mu\text{m}$ foram produzidas lâminas

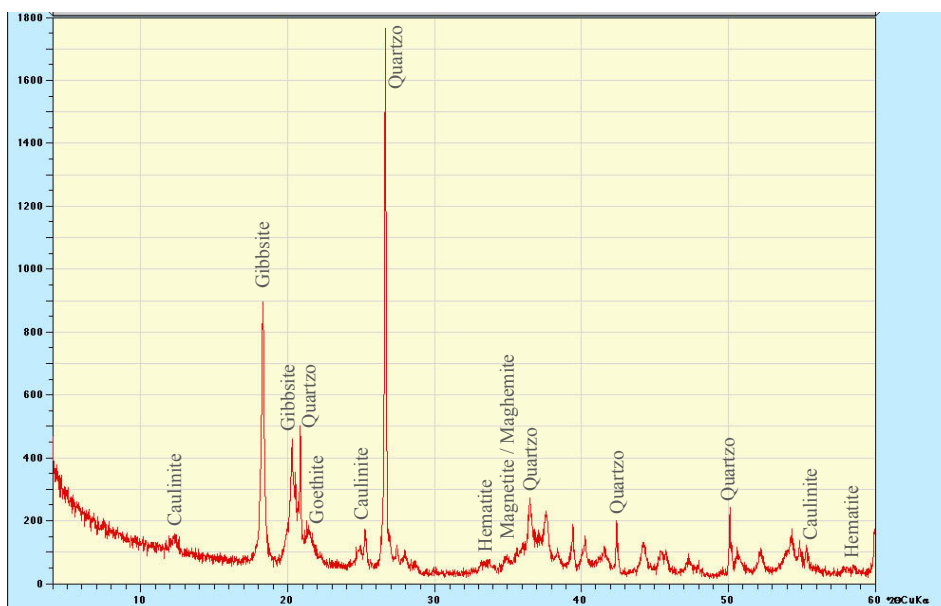
naturais e em glicerol designadas respectivamente por Lam1 nat, Lam2 nat, Lam4 nat e Lam1 gly, Lam2 gly e Lam4 gly.

Analizados os difractogramas “Amostrax”, em que x representa os solos 1, 2 e 4, torna-se evidente quais os minerais mais representativos da amostra global.

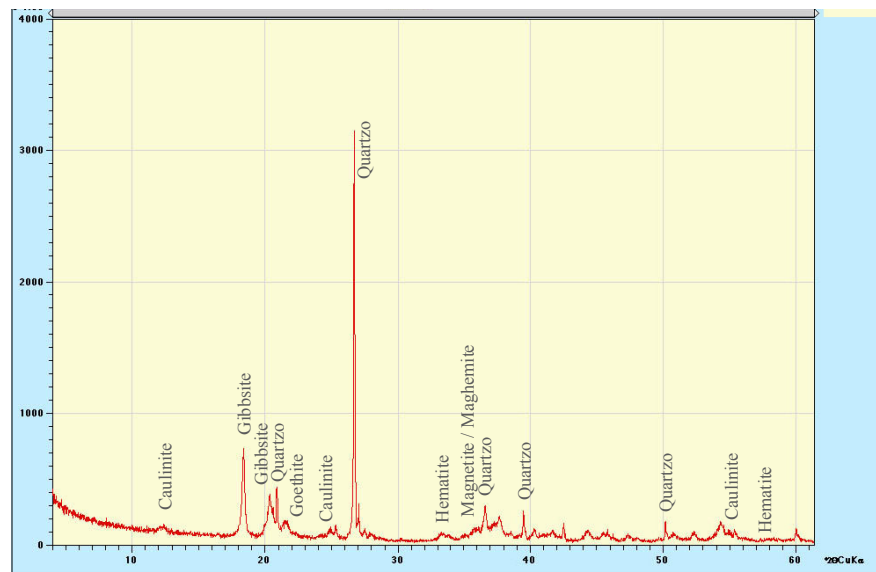
Esta representatividade é comum à qualquer uma das amostras, ou seja, todas possuem os mesmos minerais em grandes quantidades. São eles Gibbsite, Magnetite-Maghemite, Hematite, Goethite e Quartzo (Figura 4.5).



(a)



(b)

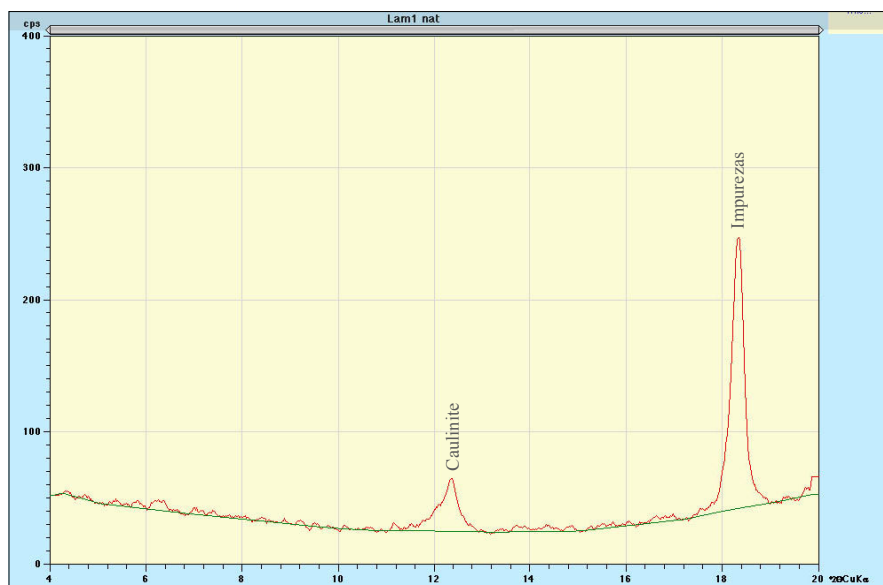


(c)

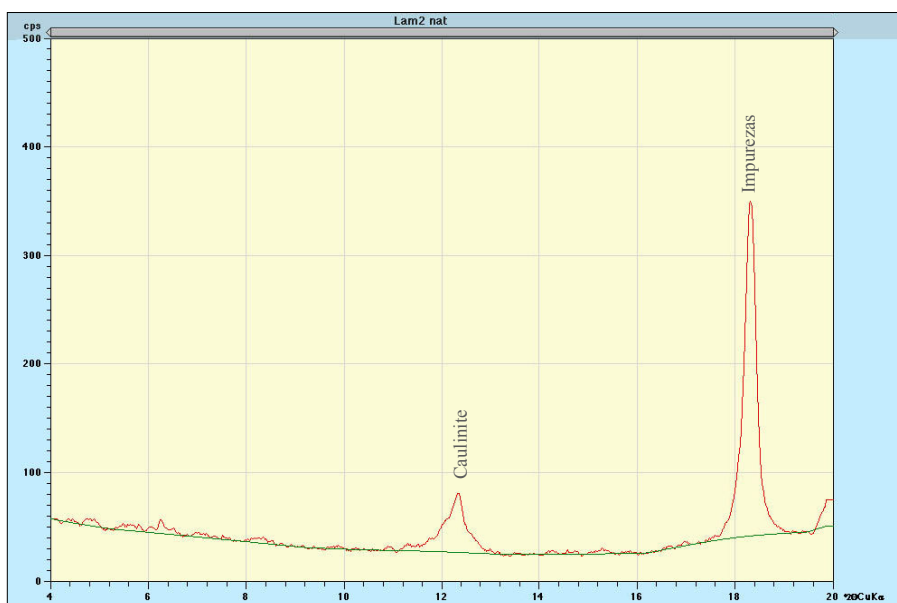
Figura 4.5: Difractogramas “Amostrax”: (a) Amostra1; (b) Amostra2; (c) Amostra4

Recorrendo à análise da altura dos picos (Figura 4.4), é possível comparar as quantidades relativas de cada mineral numa mesma amostra, assim como a divergência de quantidades do mesmo mineral em amostras distintas. Desta observação dois pontos ficaram retidos, em primeiro constatou-se que os solos 2 e 4 são bastante semelhantes quer no tipo de minerais presentes, quer na sua representatividade na amostra. Já o solo 1 distingue-se por apresentar valores de Hematite e Magnetite-Maghemite significativamente superiores aos encontrados nos outros dois solos em estudo (Figura 4.5).

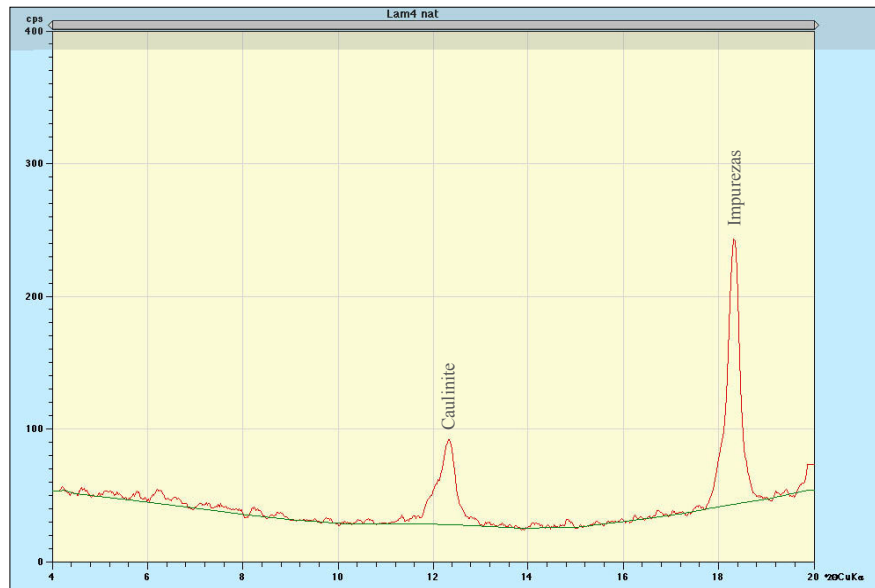
A observação dos difractogramas “Lamx nat” (Figura 4.6) e “Lamx gly” (Figura 4.7), permitiu destacar a Caullinite como sendo um mineral comum aos três solos em estudo.



(a)



(b)



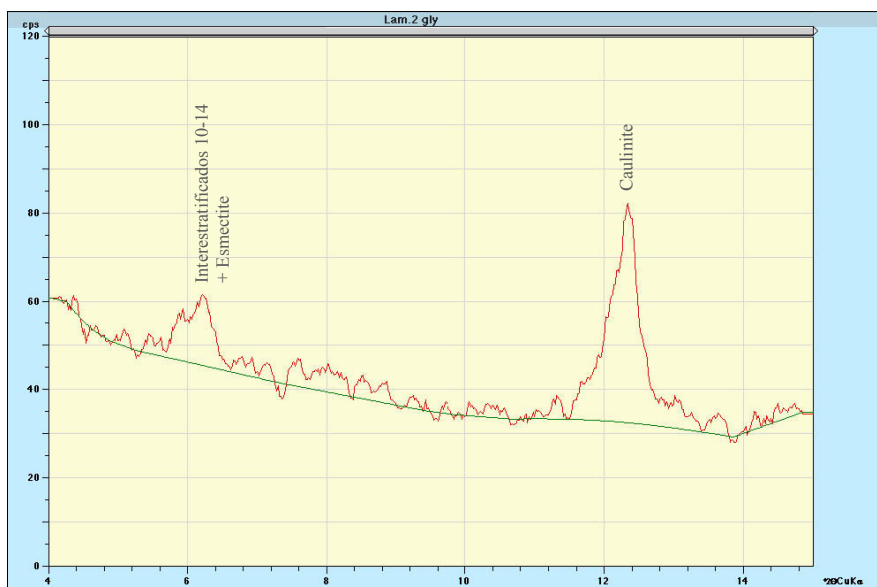
(c)

Figura 4.6: Difractogramas “Lamx nat”: (a) Lam1 nat; (b) Lam2 nat; (c) Lam4 nat

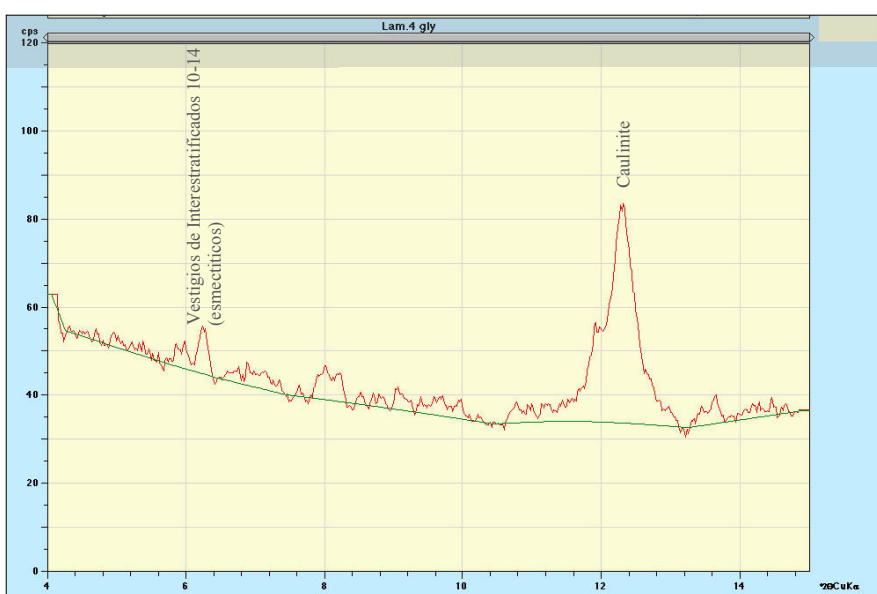
Nas lâminas “Lam2 gly” e “Lam4 gly”, encontra-se registado, para além da Caulinite atrás referida, um novo pico de intensidade aproximada correspondente a um d (\AA) $\approx 14,2$. Pensa-se que este pico represente a existência (ainda que discreta) de interestratificados 10-14 (esmectíticos). A presença destes minerais de argila torna-se mais significativa no solo 2 onde o pico apresenta uma forma “em banda” típica das esmectites.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.7: Difractogramas “Lamx gly”: (a) Lam1 gly; (b) Lam2 gly; (c) Lam4 gly

4.4 CONCLUSÕES DOS RESULTADOS DE ENSAIO

O objectivo deste estudo foi encontrar as possíveis causas para a elevada retractilidade dos solos de Camabatela.

Dada a dificuldade em obter maiores quantidades de cada amostra, assim como a limitação do tempo para a elaboração desta tese, apenas foi possível realizar o ensaio da difracção de raios X (DRX). No entanto, os resultados obtidos deste mesmo ensaio, combinados com as informações já adquiridas pelo teste da retracção executado “in-situ” permitem tirar algumas conclusões interessantes que coadunam com a informação visual quer da cor dos solos (Figura 4.8), quer do relevo da zona envolvente de onde foram extraídos os mesmos, assim como com o clima característico de Camabatela.

A grande maioria dos minerais encontrados nos solos aqui em estudo, são resultado de um longo processo de meteorização de bauxites e laterites. Esta conclusão baseia-se não só na elevada representatividade de gibbsite ($Al(OH)_3$), um dos principais constituintes das rochas bauxíticas, como na forte presença de óxidos de ferro como a hematite ($\alpha - Fe_2O_3$) e a magnetite/maghemite ($Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4 / \gamma - Fe_2^{3+}O_3$), característicos das laterites. Este tipo de rochas tem origem normalmente em zonas de clima subtropical a tropical como o existente em Camabatela e desenvolvem-se sob condições de prolongadas meteorizações pela água das chuvas, acompanhadas da lixiviação da sílica entre outros componentes mais leves.

A goethite ($FeO.OH - \alpha$) é outro entre os minerais registados nos difractogramas dos três solos, que merece alguma atenção. A sua formação dá-se normalmente em meios oxidantes e resulta também de um processo de meteorização de óxidos de ferro, tais como a hematite e a magnetite. Por ser um mineral menos cristalino do que aqueles que lhe dão origem, a sua identificação por difracção de raios X é mais dificultada. Assim, o registo num difractograma de um pico, ainda que pequeno, representante deste mineral, poderá indicar uma presença bastante significativa da goethite nos solos analisados.

Esta informação é importante porque, muito provavelmente, a goethite é um dos causadores do fenómeno de retracção. A hidratação da goethite origina limonite e é este processo de hidratação/ desidratação que provoca a expansão/ retracção dos solos.

A hidratação das hematites e magnetites-maghemites também pode ser uma possível justificação para este fenómeno, o que sustenta o facto de o solo 1 ser significativamente

mais retráctil do que os outros dois, segundo os dados obtidos pelo ensaio realizado “in-situ” e que estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Nos difractogramas correspondentes às lâminas, naturais e com glicerol, de qualquer um dos três solos, está registado um pico correspondente à caulinite. As caulinites são minerais de argila com fraca expansividade. Este comportamento é justificado por um lado, pela reduzida distância existente entre as camadas estruturais que impedem a entrada de água e por outro, pelo seu fraco potencial eléctrico dando origem a uma fraca adsorção superficial. Não deve contudo ser esquecida a presença, ainda que discreta, dos interestratificados 10-14 que por serem esmectíticos são também expansivos.

Os resultados da DRX revelam uma tendência para solos constituídos por partículas pesadas como o ferro e o alumínio em detrimento das partículas finas como sendo as argilas. Esta tendência justifica-se com o facto de Camabatela estar situada num planalto e apresentar um clima subtropical.

Na época das chuvas, muitos minerais constituintes das rochas sofrem um processo de erosão mais acelerado que provoca a sua fissuração. Muitos elementos fundamentais para o desenvolvimento das argilas como o sódio, potássio, cálcio, magnésio e sílica são dissolvidos e arrastados com o escoamento das águas, o que explica a desigualdade referida no parágrafo anterior.

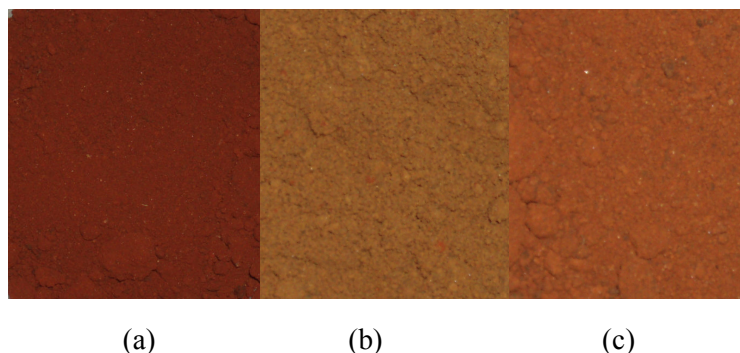


Figura 4.8: Coloração dos três tipos de solo: (a) solo1; (b) solo2; (c) solo4

4.5 SOLUÇÃO PARA DIMINUIR O FENÓMENO DE RETRACÇÃO

Conhecida a razão da elevada retracção facilmente observada nas habitações de Camabatela, pretende-se agora sugerir uma solução que permita minimizar este fenómeno causador de tantas patologias.

A adição de areia parece a solução mais viável à primeira vista, uma vez que solos granulares tendem a ser pouco retrácteis. Além disso, a areia é um produto de fácil aquisição dada a sua existência no próprio terreno da missão (Figura 4.9), possuindo ainda a vantagem de ser um material harmonizável com a tipologia construtiva utilizada.



Figura 4.9: Extracção de areia no terreno da missão

Para testar a eficácia desta solução será necessário repetir o ensaio apresentada na Secção 4.2 para misturas de solo:areia em diversas proporções. É importante ter em atenção que a adição excessiva de areia provoca uma diminuição da resistência mecânica dos adobes não estabilizados, pelo que é importante realizar a par dos ensaios de retracção, ensaios de resistência à compressão e flexão.

CAPÍTULO 5

COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE ADOBES E BTC NA PRESENÇA DE ÁGUA

5.1 INTRODUÇÃO

Camabatela situa-se numa zona do país onde a precipitação média anual é significativa, constituindo uma grande preocupação no que respeita à qualidade e segurança estrutural das habitações existentes.

Neste capítulo são apresentados dois protocolos experimentais, desenvolvidos com base em normas Neozelandesas e Australianas, que permitem, avaliar a qualidade dos solos para a construção em terra, assim como a durabilidade de adobes e BTC, possibilitando uma aplicação mais adequada em paredes externas mais ou menos expostas.

O estudo apresentado neste capítulo pretende fornecer bases de trabalho para o desenvolvimento futuro de uma campanha experimental semelhante, a realizar “in-situ” com os solos de Camabatela.

5.2 CONSIDERAÇÕES RELATIVAS À PRODUÇÃO DOS ADOBES E BTC

Neste trabalho, todos os adobes e BTC foram produzidos com solo extraído do antigo areeiro do Montinho, localizado na freguesia da Poucarica - Cantanhede (Figura 5.1).



Figura 5.1: Areeiro do Montinho

Os adobes ensaiados foram fabricados segundo as técnicas tradicionais utilizadas na região de Aveiro. O processo começa com o estender do solo sobre o pavimento. No centro faz-se uma pequena caldeira onde é depositado o ligante (no caso de este existir). Aos poucos adiciona-se a água, medida a olho até adquirir a consistência ideal, ao mesmo tempo que se procede à amassadura com o auxílio de uma enxada.

Com o molde previamente humedecido despeja-se a massa, que com o ajuda de uma colher de pedreiro é compactada aplicando-lhe alguns golpes. Depois de preenchido, alisa-se a superfície do adobe e retira-se o adobeiro puxando-o lentamente para cima.

O adobeiro utilizado (Figura 5.2) tem as dimensões do adobe de parede típico da região de Aveiro (40 cm x 20 cm x 10 cm), que em altura é menor ao encontrado em Camabatela (40 cm x 20 cm x 20 cm).



Figura 5.2: Adobeiro de dois adobes

Para esta campanha experimental foram produzidas três séries de adobes que diferem no traço da mistura utilizada. Série A – adobes só de terra; Série B - adobes com traço 10:1 (terra : cal aérea); Série C - adobes com traço 5:1 (terra : cal aérea) (Figura 5.3).



Figura 5.3: Adobes produzidos no laboratório

Como o tempo era limitado para a realização desta experiência, optou-se por substituir 10% da quantidade de cal aérea por cal hidráulica acelerando assim o processo de cura dos adobes que durou 1 mês.

À semelhança dos adobes, a produção da massa para os BTC's seguiu o mesmo procedimento atrás descrito. Como esta é uma técnica distinta da dos adobes, passando pela compressão mecânica dos blocos, a quantidade de água despendida também é bastante inferior, sendo apenas necessário humedecer o solo. Depois de pronta a massa, produziram-se os BTC's recorrendo à uma máquina de compressão mecânica.

Quanto à mistura, foram igualmente produzidas três séries. Série D – BTC's só de terra; Série E – BTC's com traço 10:1 (terra : cal aérea); Série F – BTC's com traço 5:1 (terra : cal aérea). Também aqui se substituiu 10% da quantidade de cal aérea por cal hidráulica.

5.3 ENSAIO DE DURABILIDADE – TESTE DE EROSÃO PELO MÉTODO DE GEELONG

5.3.1 Objectivos do ensaio

O objectivo deste ensaio é avaliar a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva na superfície de adobes e BTC's e observar a capacidade de absorção de água nos mesmos elementos.

5.3.2 Descrição geral do ensaio

O ensaio que a seguir se descreve deve ser realizado num espaço resguardado do vento e do sol directo a fim de evitar a deturpação dos resultados. O ensaio deve seguir os seguintes passos:

1. Gotejar 100 ml de água a uma altura de 400 mm sobre a face inclinada do bloco de amostra (Figura 5.4). O tempo de gotejamento ideal deve situar-se num intervalo entre 20 a 60 minutos.
2. Terminado o ensaio, mede-se a profundidade do sulco com o auxílio de uma ponta de prova cilíndrica de 3,15 mm de diâmetro na extremidade.
3. Imediatamente após a conclusão do teste do gotejamento, deve-se quebrar o espécime através do ponto onde se verificar maior erosão e na superfície de rotura medir a penetração da humidade.



Figura 5.4: Sistema experimental do ensaio de erosão pelo método de Geelong

5.3.3 Resultados

Os resultados do ensaio de erosão são apresentados sob forma de tabelas nas Secções 5.3.3.1 para adobes e 5.3.3.2 para BTC.

5.3.3.1 Adobes

Tabela 5.1: Resultados para os adobes da série A (só de terra)

Adobes	Profundidade do sulco (mm)	Média da profundidade do sulco (mm)	Penetração da água (cm)	Média da penetração da água (cm)
1	9	10,5	4,2	4,26
2	11,5		4,0	
3	11		4,3	
4	11		4,5	
5	10		4,3	

Tabela 5.2: Resultados para os adobes da série B (10:1)

Adobes	Profundidade do sulco (mm)	Penetração da água (cm)	Média da penetração da água (cm)
1	-	1	1,06
2	-	0,3	
3	-	1,5	
4	-	1	
5	-	1,5	

Tabela 5.3: Resultados para os adobes da série C (5:1)

Adobes	Profundidade do sulco (mm)	Penetração da água (cm)	Média da penetração da água (cm)
1	-	0,3	0,79
2	-	0,4	
3	-	0,7	
4	-	1,4	
5	-	1,15	

5.3.3.2 BTC's

Tabela 5.4: Resultados para os BTC's da série D (só de terra)

BTC	Profundidade do sulco (mm)	Média da profundidade do sulco (mm)	Penetração da água (cm)	Média da penetração da água (cm)
1	9	9,42	5,2	5,43
2	10,5		5,5	
3	10		4,8	
4	9		5,1	
5	8,5		6,5	
6	9,5		5,5	

Tabela 5.5: Resultados para os BTC's da série E (10:1)

BTC	Profundidade do sulco (mm)	Penetração da água (cm)	Média da penetração da água (cm)
1	-	4,5	4,5
2	-	2,9	
3	-	6,7	
4	-	2,8	
5	-	2,95	
6	-	7,2	

Tabela 5.6: Resultados para os BTC's da série F (5:1)

BTC	Profundidade do sulco (mm)	Penetração da água (cm)	Média da penetração da água (cm)
1	-	2,4	2,83
2	-	2,8	
3	-	2,9	
4	-	3,6	
5	-	2,3	
6	-	3	

5.3.4 Conclusões

Da análise dos valores referentes à profundidade do sulco, conclui-se que a adição de estabilizantes nas proporções aqui estudadas, confere à mistura uma elevada resistência à erosão. Em contrapartida, os adobes e BTC produzidos apenas com terra apresentaram uma fraca resistência ao impacto das gotas, formando na face de prova um sulco de profundidade considerável (Figura 5.5).



Figura 5.5: Erosão provocada pelo impacto das gotas: (a) adobe só de terra; (b) BTC só de terra

Com base na Tabela 5.7 é possível relacionar a profundidade do sulco com o índice de erosão dos blocos de terra.

Tabela 5.7: Índices de erodibilidade para o teste da erosão, método de Geelong (NZS 4298: 1998).

Propriedade	Critério	Índice de erodibilidade
Profundidade do sulco, D (mm)	$0 < D < 5$	2
	$5 \leq D < 10$	3
	$10 \leq D < 15$	4
	$D \geq 15$	5 (reprovado)

Para cada série foi atribuído um índice de erosão admitindo como critério a média dos valores correspondentes à profundidade do sulco (Tabela 5.8).

Tabela 5.8: Índice de erodibilidade para cada série de blocos de terra

Séries de blocos	Índice de erodibilidade
A	4
B	2
C	2
D	3
E	2
F	2

Recorrendo a Tabela 5.9 e aos valores do índice referidos na Tabela 5.8, é possível indicar qual a melhor aplicação dos blocos em paredes exteriores.

Tabela 5.9: Interpretação do teste da erosão pelo método de Geelong (NZS 4298: 1998).

Profundidade do sulco D (mm)	Índice de erodibilidade	Utilização do adobe
$0 < D < 5$	2	Apropriado para algumas paredes externas mais expostas
$5 \leq D < 10$	3	Apropriado para paredes externas protegidas
$10 \leq D < 15$	4	Apropriado para algumas paredes externas protegidas
$D \geq 15$	5 (reprovado)	Inaceitável para paredes externas

Assim, os blocos das séries B, C, E e F que não apresentaram degradação devido às gotas de água, podem ser aplicados em paredes externas mais expostas. Já os adobes da série A e D podem ser aplicados em paredes exteriores protegidas, estando os da série A um pouco mais condicionados.

Para a análise dos valores correspondentes à capacidade de absorção de água dos espécimes estudados, recorreu-se ao valor médio calculado para cada série.

Uma vez que as dimensões do adobe diferem das do BTC, torna-se impossível comparar os resultados entre estes dois métodos construtivos. De facto, nos adobes a penetração da água dá-se até menores profundidades do que nos BTC, facto facilmente explicável pelo aumento da superfície de contacto com a água (Figura 5.6). Admitindo que

os blocos de BTC possuísem iguais dimensões das do adobe, seria de prever que a absorção de água fosse menor dado a sua compactação dificultar a passagem do líquido.

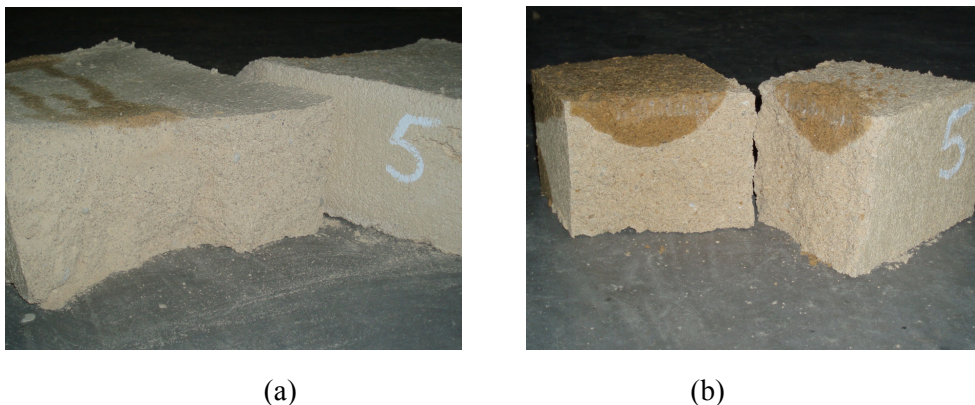


Figura 5.6: Capacidade de absorção de água (a) adobe 10:1; (b) BTC 10:1

A confrontação dos valores nas diferentes séries para os dois materiais permite concluir que à medida que se aumenta a proporção dos estabilizantes na mistura, a capacidade de absorção de água diminui. De facto, a existência dos estabilizantes torna a massa mais resistente física e quimicamente, dificultando a formação de cavidades e consequentemente a passagem da água.

No Anexo E da norma Neozelandeza (NZS 4298:1998) que serviu de base ao protocolo experimental do teste da erosão atrás referido, consta uma tabela que permite seleccionar o material em função da capacidade de penetração da água.

Tabela 5.10: Selecção do material em função da capacidade de absorção de água (NZS 4298: 1998)

Profundidade de penetração (partir o provete imediatamente após se completar o ensaio) se o provete tiver uma altura >120 mm	<120 mm	Aprovado
	≥120 mm (medir a partir da face do bloco)	Reprovado

É de salientar que na Tabela 5.10, a avaliação é feita para blocos cuja altura seja igual ou superior a 12 cm. De facto, quer os adobes quer os BTC estudados apresentam uma altura de 10 cm, sendo por isso necessário recorrer à extrapolação dos valores normativos.

Dado que em nenhum dos casos a absorção de água atingiu a profundidade correspondente à altura do espécime, considera-se de acordo com a Tabela 5.10 que quer os adobes quer os BTC ensaiados passam na avaliação deste parâmetro.

5.4 ENSAIO DE AVALIAÇÃO DO CICLO HÚMIDO / SECO

5.4.1 Objectivos do ensaio

O comportamento em serviço de uma estrutura de terra pode estar comprometido após vários ciclos húmido/seco, caso ocorram algumas das seguintes situações:

- Presença de minerais de argila no solo
- Mistura de solo com constituição desapropriada
- Desadequadas técnicas de produção dos elementos da construção

Este ensaio tem como objectivo eliminar solos impróprios para material de construção ainda que tenha passado os testes de resistência ou outros testes de durabilidade.

5.4.2 Descrição geral do ensaio

Para realização deste ensaio devem ser seleccionados dois adobes/BTC semelhantes, um para referência e outro para ensaiar.

É importante garantir que a face do adobe a ensaiar seja a mesma que vai ficar exposta e sujeita à acção atmosférica.

Na base de um tabuleiro (com dimensões mínimas de 1,5 vezes as dimensões do adobe a ensaiar) distribuir três moedas de 20 cêntimos (2mm de altura) submersas em 10 mm de altura de água durante os seguintes períodos, consoante o índice de erosão (definido com o teste de geelong):

- 2 minutos para materiais com índice de erosão 2
- 1 minutos para materiais com índice de erosão 3
- 0,5 minutos para materiais com índice de erosão 4

Após cada ensaio o provete deve secar à temperatura ambiente durante um dia ou até adquirir uma cor e aparência semelhante ao adobe/BTC de referência, indicando que a secagem está completa.

O mesmo provete deve ser ensaiado para 6 ciclos húmido/seco, tendo em atenção que a face de prova é sempre a mesma.

5.4.3 Resultados

Os resultados do ensaio de avaliação do ciclo húmido/seco são apresentados sob forma de tabelas nas Secções 5.4.3.1 para adobes e 5.4.3.2 para BTC.

5.4.3.1 Adobes

Tabela 5.11: Resultados para os adobes da série A (só de terra)

Adobes	Índice de erudibilidade	1º ciclo
1	3	Imediatamente após o contacto com a água o adobe perdeu uma considerável quantidade de material
2	4	
3	4	
4	4	
5	4	

Tabela 5.12: Resultados para os adobes da série B (10:1)

Adobes	Índice de erudibilidade	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo	6º ciclo
1	2	Ao fim de cada ciclo não se observou qualquer alteração da face de prova				
2	2					
3	2					
4	2					
5	2					

Tabela 5.13: Resultados para os adobes da série C (5:1)

Adobes	Índice de erudibilidade	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo	6º ciclo
1	2	Ao fim de cada ciclo não se observou qualquer alteração da face de prova				
2	2					
3	2					
4	2					
5	2					

5.4.3.2 BTC's

Tabela 5.14: Resultados para os BTC's da série D (só de terra)

BTC	Índice de erudibilidade	1º ciclo
1	3	Imediatamente após o contacto com a água o BTC perdeu uma considerável quantidade de material
2	4	
3	4	
4	3	
5	3	
6	3	

Tabela 5.15: Resultados para os BTC's da série E (10:1)

BTC	Índice de erudibilidade	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo	6º ciclo
1	2	Ao fim de cada ciclo não se observou qualquer alteração da face de prova					
2	2						
3	2						
4	2						
5	2						
6	2						

Tabela 5.16: Resultados para os BTC's da série F (5:1)

BTC	Índice de erudibilidade	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo	6º ciclo
1	2	Ao fim de cada ciclo não se observou qualquer alteração da face de prova					
2	2						
3	2						
4	2						
5	2						
6	2						

5.4.4 Conclusões

Após terminar cada operação de secagem, a face de prova deve ser examinada para verificar se há manifestações de algum dos seguintes efeitos:

- (a) Padrão de fissuras de pequena abertura
- (b) Padrão de fissuras tipo estrela
- (c) Inchaço local
- (d) Formação de sulcos em pelo menos 5 pontos
- (e) Perda local ou geral de camadas de solo na zona molhada após a secagem
- (f) Penetração da água em mais do que 70 % da largura do adobe
- (g) Perda de fragmentos na face do bloco cuja maior dimensão seja superior a 50 mm. Caso os fragmentos se soltem dos cantos do adobe, desprezamos a sua importância
- (h) Aparecimento de cristais finos de cor branca na superfície do tijolo

O aparecimento de qualquer dos efeitos anteriormente descritos, indica que o material deve ser rejeitado para a construção em terra.

A leitura dos resultados permite concluir que à excepção dos adobes e BTC produzidos apenas com terra, todos os outros não apresentam nenhuma das manifestações atrás descritas, estando as misturas automaticamente aceites para a construção em terra (Figura 5.7).

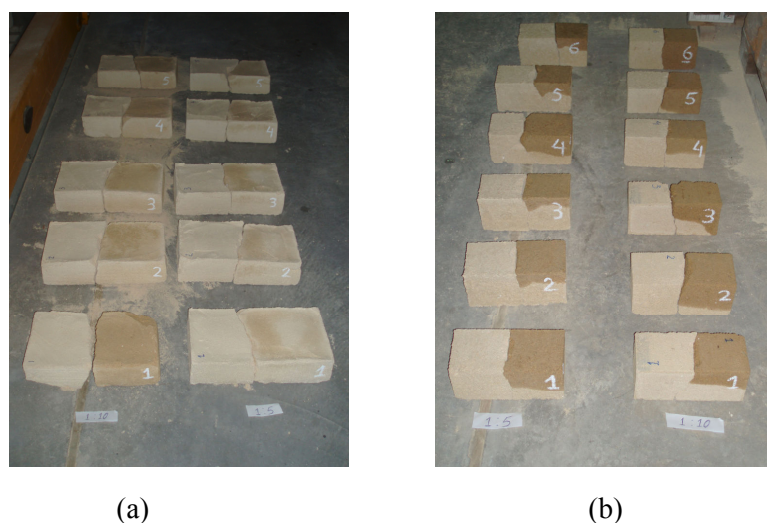


Figura 5.7: Face dos blocos com estabilizante após 6 ciclos: (a) adobes; (b) BTC

O contacto com a água provocou uma desintegração quase instantânea do material constituinte dos adobes e BTC só de terra o que permite concluir que o solo utilizado na produção destes blocos não apresenta boas características quando aplicado sem a adição de estabilizantes (Figura 5.8).

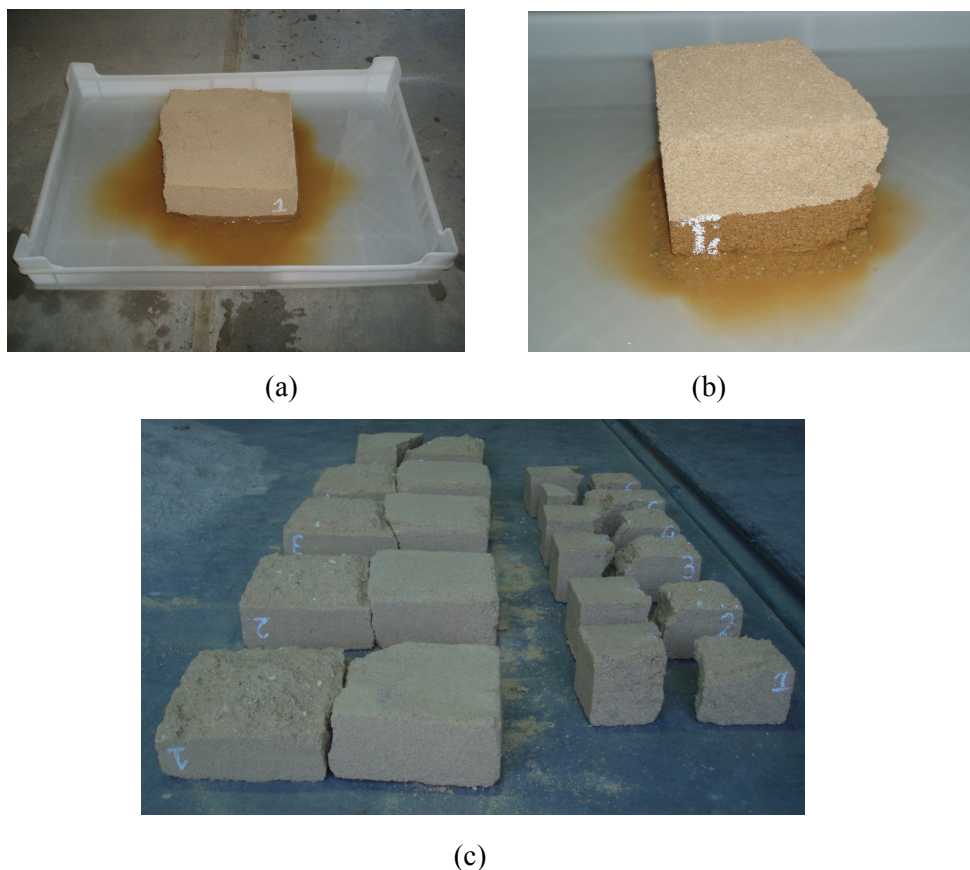


Figura 5.8: ensaio do ciclo húmido/seco: (a) adobe só de terra; (b) BTC só de terra; (c) resultado ao fim do primeiro ciclo

CAPÍTULO 6

APRESENTAÇÃO DO PROJECTO DA ESCOLA E DE UMA POSSÍVEL SOLUÇÃO PARA A COBERTURA

6.1 INTRODUÇÃO

Como já foi mencionado no Capítulo 3, um sistema de cobertura inadequado pode estar na origem de uma série de problemas e patologias encontradas nas habitações.

Nas construções concebidas em terra crua a importância da cobertura mostra-se ainda mais relevante, uma vez que deve também funcionar como protector das paredes à acção da água das chuvas, bem como permitir o conforto térmico e acústico no interior da habitação.

Ao observar as casas existentes na zona envolvente ao espaço onde se pretende implantar a nova escola, concluiu-se que na grande maioria, a chapa de zinco tornou-se o material de eleição para a execução das coberturas. A dificuldade em obter colmo suficiente para o revestimento da cobertura, assim como a difícil manutenção das mesmas, levaram os habitantes locais a recorrer a outros materiais. Por ser económica e de fácil aplicação, a chapa de zinco ganhou o seu lugar na construção local.

Conscientes das potencialidades de outros materiais disponíveis no local, optou-se por desenvolver uma cobertura cuja estrutura resistente seja realizada com a madeira de eucalipto existente no terreno de construção e aproveitando também as características plásticas do solo, produzir telha meia cana para o revestimento.

Uma vez que a filosofia deste projecto é “Construção com formação”, serão criadas oficinas de trabalho onde se pretende ensinar aos alunos técnicas de manuseamento e construção com a madeira, bem como o fabrico de telhas entre outras possíveis artes.

Na secção seguinte é apresentada uma solução de cobertura que permite satisfazer as exigências mínimas de conforto térmico e acústico, não descorando no entanto o aspecto estético bem como da simplicidade de execução.

6.2 DESCRIÇÃO GERAL DO PROJECTO DA NOVA ESCOLA

O projecto em que se integra o trabalho aqui apresentado baseia-se na construção de um complexo escolar que pretende servir um número aproximado de 2000 alunos. Requisitado pela Ordem dos Frades Menores Capuchinhos à Organização Missanga, este projecto visa não só atingir o objectivo geral da aquisição de uma nova escola, como também constitui uma possibilidade para o desenvolvimento das capacidades de cada interveniente deste processo.

Integrado no projecto “Construção com Formação”, a criação deste edificado pretende promover e desenvolver o “saber fazer”, de forma a munir a comunidade de capacidades técnicas, espírito de exigência e valorização da identidade local.

6.2.1 Caracterização Biofísica da zona de Intervenção

Camabatela situa-se num planalto, a norte da província do Kwanza Norte em Angola (Figura 6.1).



Figura 6.1: Posicionamento da Vila de Camabatela no mapa de Angola [adaptado de U.N., 2004]

É caracterizada por um coberto vegetal denso, designado pelas comunidades de savana. O povo jinga (grupo etno-linguístico quimbundo) é o mais predominante daquela região e encontra-se principalmente distribuído na periferia ocidental dado a proximidade com a floresta, onde os solos são mais favoráveis à plantação de mandioca, amendoim e batata-doce. Já o interior da província é marcado por uma distribuição populacional bastante irregular, uma vez que aí os solos apresentam reduzida fertilidade.

No que respeita ao clima, este é caracterizado por Tropical Húmido (Figura 6.2). Os meses de maior precipitação vão de Outubro a Abril e apresenta uma precipitação média anual de 1500 mm.



Figura 6.2: Planalto de Camabatela no mês de Fevereiro (época das chuvas)
(a) de manhã; (b) ao anoitecer

Em termos médios, a temperatura máxima anual vai de 27° a 28° C no verão e a mínima de 16° a 17° C no Inverno.

O valor médio da humidade relativa do ar às 9 h varia entre 75% e 85%.

6.2.2 Delimitação da área de implantação da escola e caracterização do espaço envolvente

“A Missão dos Frades Menores Capuchinhos abrange uma área de 2700 ha, situando-se junto ao limite Norte da povoação de Camabatela, onde desempenha um papel crucial na promoção social e enquanto factor aglutinador da comunidade”.

A Figura 6.3 permite ter uma ideia da organização do núcleo edificado e do posicionamento previsto para a futura escola. Ao fim da alameda, mesmo ao centro

encontra-se a igreja. Ao seu lado direito está a habitação dos irmãos e do lado esquerdo a casa do apostulante, onde residem os seminaristas que frequentam da 7ª a 9ª classe. Um pouco mais recuado, do lado direito às construções referidas, encontra-se a actual escola. Esta é constituída por 12 salas distribuídas por dois longos edifícios e por uma secretaria. A escola conta também com o apoio de uma papelaria / livraria situada na sua proximidade.

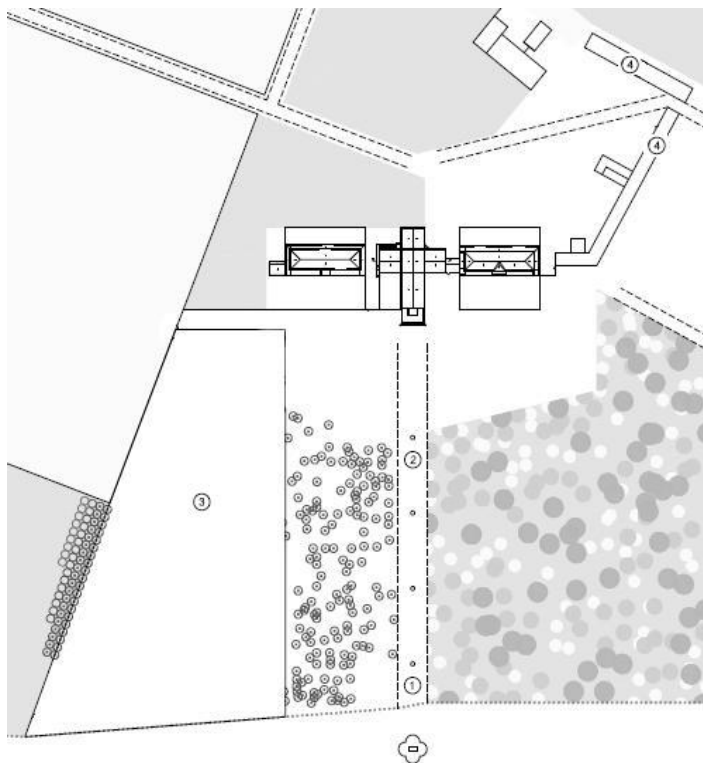


Figura 6.3: Localização dos complexos escolares no espaço envolvente: (1) acesso principal à missão; (2) alameda; (3) área de implantação da nova escola; (4) escola actual [O.M., 2006]

Devido ao elevado estado de degradação da escola actual (Figura 6.4) e da sua inadequação ao número de alunos existentes, tornou-se urgente criar um novo complexo que permitisse ao aluno encontrar todas as condições para aprender, de forma a desenvolver competências em determinados ofícios.

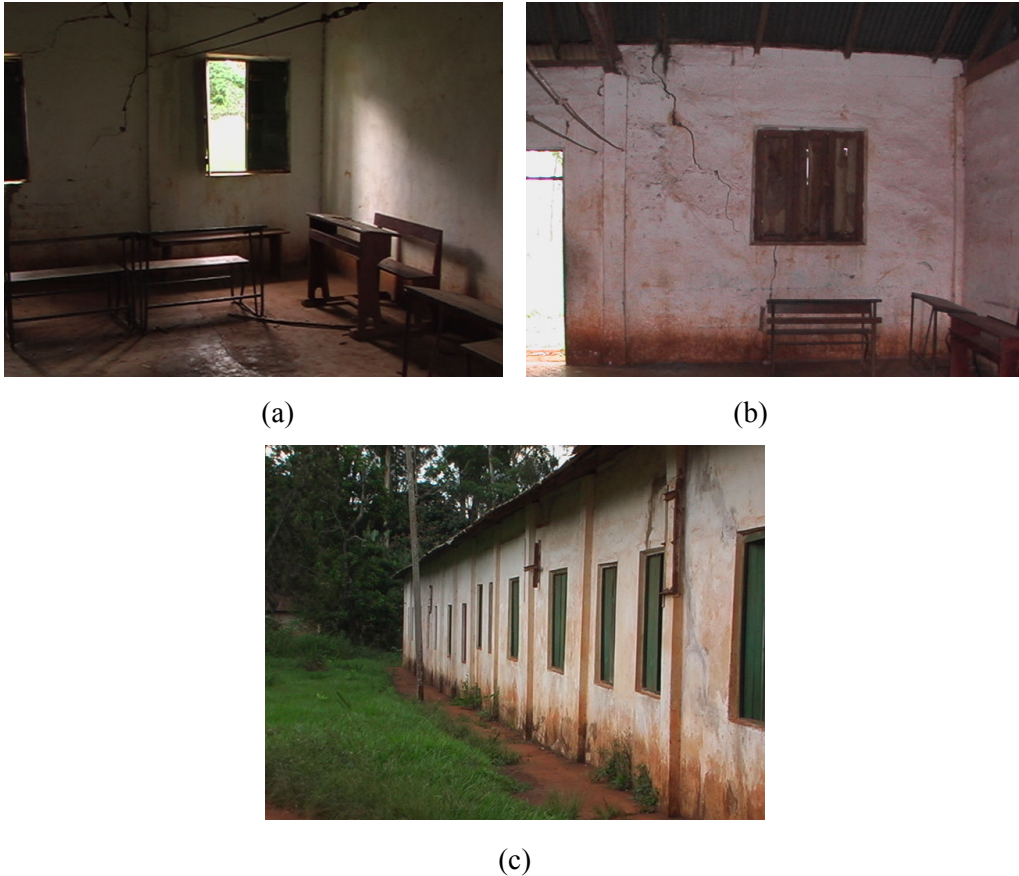


Figura 6.4: Degradação interior e exterior da escola existente na missão: (a) iluminação insuficiente no interior da sala; (b) fissuras significativas nas paredes resistentes; (c) beirado curto e consequente vulnerabilidade das fachadas à água.

Foi então avaliado o espaço envolvente, optando-se por implantar o novo complexo escolar num terreno paralelo à alameda. Esta parcela de terreno ocupa 17500 m² e é coberta maioritariamente por floresta de eucalipto (Figura 6.5).



Figura 6.5: Zona de implantação da escola

6.2.3 Organização geral do novo espaço escolar

A organização do espaço escolar obedeceu a vários critérios.

Os primeiros blocos a verde-escuro (Figura 6.6), foram pensados para a instalação dos serviços (portaria, cafetaria, cozinha, enfermaria, papelaria/livraria e reprografia) da área administrativa (secretaria, economato, direcção/gabinetes) e do centro de recursos (biblioteca – sala de estudo, biblioteca – depósito de livros, sala de estudo em grupo, infoteca e sala de projecções). Os espaços pintados a laranja representam a denominada “área da comunidade escolar”, onde todos os utentes da escola podem se reunir para tomar decisões em comunidade ou somente para conviver. Os blocos seguintes pintados de amarelo, azul, rosa claro e rosa escuro simbolizam as salas de aula dos seguintes níveis escolares respectivamente, pré-primário, da 1ª a 6ª classe, da 7ª a 9ª classe e do 10º ao 12º ano.

A disposição destas salas foi pensada de forma a criar uma noção de caminhada ascendente da aprendizagem. Para além disso tornou-se necessário diferenciar os espaços de lazer dos vários ciclos para que não houvessem interferências prejudiciais no percurso de desenvolvimento de cada aluno.

Para finalizar, a cinza escuro encontram-se os laboratórios, a cinza claro a oficina de manutenção e a verde-claro as instalações sanitárias.

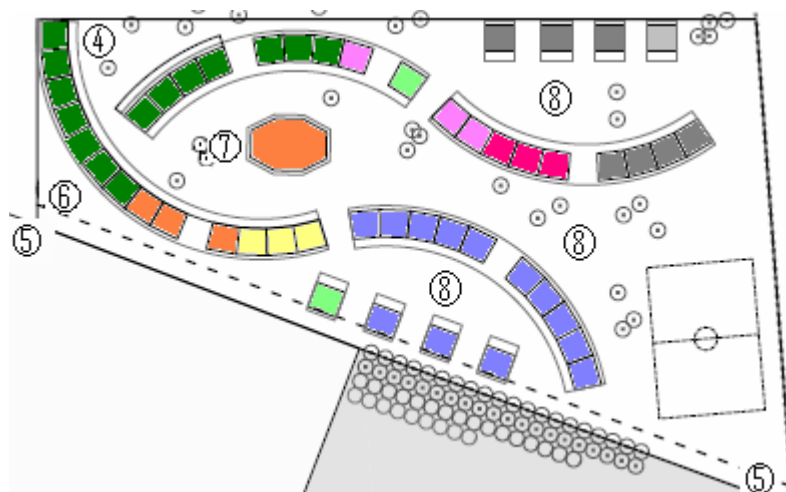


Figura 6.6: Organização do novo espaço escolar: (4) entrada da escola; (5) acesso de serviço; (6) depósito de água enterrado; (7) espaço de convívio comunitário; (8) espaços de recreio distintos [adaptado de O.M., 2006]

6.3 PROPOSTA PARA A COBERTURA DOS EDIFÍCIOS DA ESCOLA

6.3.1 Escolha da solução estrutural

Ao desenvolver a planta estrutural teve-se em atenção os seguintes aspectos:

O estudo da cobertura aqui apresentada procurou satisfazer os seguintes aspectos:

- ✓ Simplicidade de construção
- ✓ Maior aproveitamento do uso do material (economia) e que satisfação da segurança estrutural
- ✓ Satisfação das condições estéticas e de conforto térmico e acústico

Após o estudo desenvolvido pela equipa de projecto daquilo que deveria ser uma cobertura funcional, económica e fácil de executar, nasceu a planta de arquitectura, sobre a qual foi trabalhada a estrutura final (Figura 6.7 e 6.8).

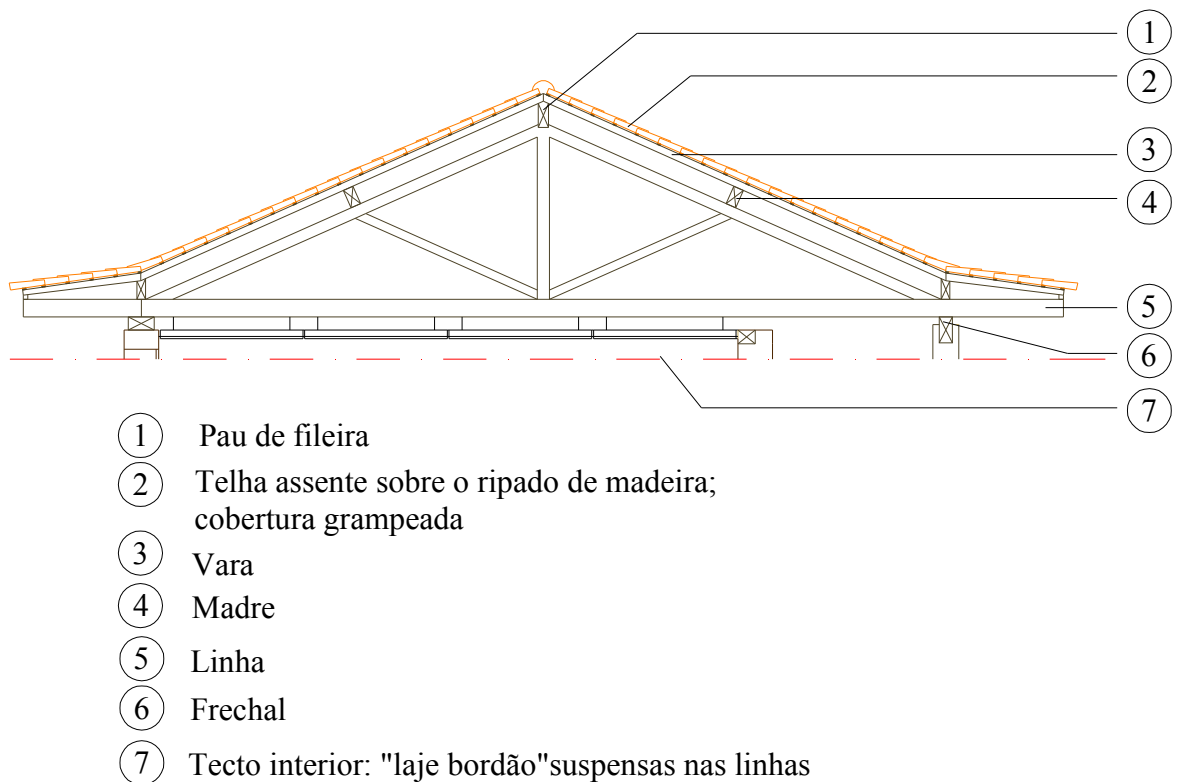


Figura 6.7: Planta estrutural da cobertura

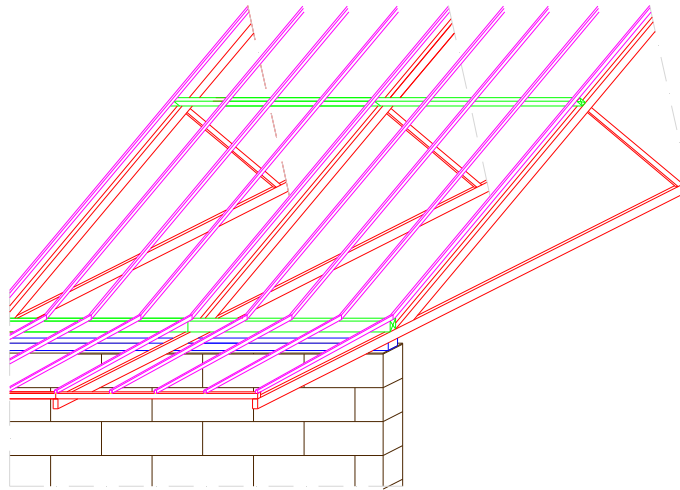


Figura 6.8: Desenho esquemático da cobertura

6.3.2 Características dos materiais

Nas secções seguintes estão apresentados os dados que permitiram desenvolver o cálculo dos elementos constituintes da cobertura.

6.3.2.1 Telha

Para o revestimento da cobertura optou-se por usar telha meia cana. Este material será produzido com o solo de Camabatela pelo que não há o conhecimento do peso de cada telha após o fabrico.

Para telha ½ cana, tipo valadio, $G = 0,7 \text{ kN/m}^2$ (Tabelas Técnicas, 2005):

6.3.2.2 Madeira

A estrutura apresentada será construída em madeira de eucalipto, por ser o material dominante na zona envolvente.

As características mecânicas adoptadas no dimensionamento foram retiradas da ficha técnica deste material fornecido pela empresa de madeiras e derivados “Damadeira”.

Módulo de elasticidade: $E = 17500 \text{ N/mm}^2$

Massa volúmica em toro verde: $\rho_{méd} = 800 \text{ kg/m}^3$

Valor característico da resistência à flexão: $f_{m,k} = 127,5 \text{ N/mm}^2$

Valor característico da resistência ao corte: $f_{v,k} = 13,7 \text{ N/mm}^2$

6.3.3 Dimensionamento

6.3.3.1 Cálculo das acções de dimensionamento

Para o dimensionamento da cobertura consideraram-se as seguintes acções:

- ✓ Acções permanentes: resultado do somatório do peso próprio da telha e da estrutura de madeira.
- ✓ Acções variáveis: definidas pela sobrecarga de utilização ($Q=0,3 \text{ kN/m}^2$) e pela acção do vento ($W=1,32 \text{ kN/m}^2$). A acção do vento foi calculada com base no RSA (Regulamento de segurança e acções) onde também foi retirado o valor da sobrecarga.

6.3.3.2 Considerações de dimensionamento e secções dos elementos

Os cálculos efectuados para o dimensionamento da cobertura tiveram como base o Eurocódigo 5 – Cálculo de estruturas de madeira.

O dimensionamento seguiu uma análise elástica linear e foi realizado elemento a elemento. Com base nos esforços condicionantes para cada elemento da cobertura, fez-se a verificação da segurança para os estados limites últimos (E.L.U) e posteriormente a verificação aos estados limites de serviço (E.L.S) que neste caso apenas englobou a deformação.

Tabela 6.1: Resumo das verificações para cada elemento

	E.L.U.			E.L.S.
	FLEXÃO	CORTE	COMPRESSÃO/ TRACÇÃO	DEFORMAÇÃO
RIPAS	Flexão desviada $\begin{cases} \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + K_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \\ K_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \end{cases}$	$\tau_d \leq f_{v,d}$ em que, $\tau_d = \frac{3V_{sd}}{2bh}$	-----	Deformação instantânea $u_{inst} = \frac{5P_{sk}l^4}{384EI} < \frac{l}{500}$ Deformação deferida $u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q} + u_{fin,W} < \frac{l}{350}$
MADRES				
VARAS	Flexão simples $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \Rightarrow \sigma_{m,d} = \frac{Pl^2}{8}$			
LINHA	Flexão composta $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$			
ASNA	-----	-----	$\sigma = \frac{N}{A}$	

As secções encontradas para cada elemento encontram-se registadas na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Resumo das secções dos elementos da cobertura

		ELEMENTOS	SECÇÃO TRANSVERSAL
ASNA		RIPAS	2 x 4 cm
		VARAS	4 x 8 cm
		MADRES	12 x 22 cm
		ESCORAS INTERIORES	5 x 10 cm
		ESCORAS EXTERIORES	7 x 14 cm
		TIRANTE	7 x 14 cm
		LINHA	10 x 20 cm

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E POSSÍVEIS TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo pretende-se sintetizar os pontos mais relevantes deste trabalho, assim como referir algumas limitações encontradas no desenvolvimento do mesmo.

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho teve como principal objectivo o estudo das patologias nas construções de terra crua e a criação de possíveis soluções para as minimizar, bem como a escolha de materiais que, para além de adequados à construção em terra estejam também disponíveis na natureza local.

O registo escrito e fotográfico das patologias encontradas nas habitações de Camabatela serviu como ponto de partida para todo o trabalho. Foram detectados os principais problemas e estudadas formas de os resolver ou pelo menos minimizar. Daqui surgiu os seguintes pontos de análise:

- i.* Compreender o elevado fenómeno de retracção dos solos
- ii.* Avaliar o comportamento dos blocos de terra crua na presença da água das chuvas
- iii.* Encontrar uma solução funcional para a cobertura dos edifícios da escola

As limitações associadas a este trabalho estão principalmente relacionadas com os materiais em estudo.

A impossibilidade de produzir adobes e BTC com os solos de Camabatela, obrigou ao desenvolvimento de um estudo modelo realizado com blocos de terra crua, cujo solo é originário de Cantanhede, distrito de Coimbra.

Como solução estrutural da cobertura optou-se por recorrer à madeira de eucalipto, uma vez que esta árvore cresce em grande abundância nos terrenos onde se pretende construir a escola. Uma vez que a madeira a corte não está classificada de acordo com nenhuma norma, foi necessário recorrer a valores de características mecânicas de outras

madeiras de eucalipto de forma a ser possível o dimensionamento dos elementos constituintes da cobertura.

7.2 CONCLUSÕES

Neste ponto pretende-se apresentar as principais conclusões de cada estudo efectuado nesta tese.

Na zona em estudo, Camabatela, a construção em terra tem padecido de diversas patologias, que é importante estudar e interpretar, tais como:

- beirados;
- padieiras com vãos excessivos;
- retracção;
- cobertura.

A inexistência de beirados bem dimensionados permite que o impacto directo das gotas sobre os adobes seja mais violento, resultando no destacamento de algum material e consequentemente acelerando o processo de erosão. Várias referências bibliográficas a respeito deste tema sugerem dimensões mínimas, recomendando-se um comprimento mínimo que permite escoar a água das chuvas para além de 50 cm de distância das paredes.

Para resolver o problema das padieiras com vãos excessivos, que dão origem a elevadas deformações e manter esteticamente o desenho da janela, foi proposta uma solução que consiste em dois barrotes ligados a uma tábua conferindo a todo o conjunto uma rigidez elevada capaz de resistir as cargas actuates.

Os ensaios por difracção de raios X permitiram concluir que a goethite poderá ser um dos causadores do fenómeno de retracção verificado nos solos de Camabatela, já que a hidratação da goethite origina limonite e é este processo de hidratação/ desidratação que provoca a expansão/ retracção dos solos, bem como a hidratação das hematites e magnetites-maghemites existentes também em grande proporção. A solução para minimizar este fenómeno, passará pela adição de areia, uma vez que solos granulares tendem a ser pouco retrácteis. Além disso, a areia é um produto de fácil aquisição dada a sua existência no próprio terreno da missão, possuindo ainda a vantagem de ser um material harmonizável com a tipologia construtiva utilizada.

Outro estudo realizado teve a ver com a absorção de água e com a erosão que esta provoca na face exposta dos blocos de terra. Daqui foi possível concluir que à medida que

se aumenta a proporção dos estabilizantes na mistura, a capacidade de absorção de água diminui bem como a fragilidade das superfícies à erosão pela chuva. De facto, a existência dos estabilizantes torna a massa mais resistente física e quimicamente, dificultando a formação de cavidades e consequentemente a passagem da água.

Foram realizados também ensaios sobre adobes e BTC (produzidos com terra extraída na região de Aveiro), com o objectivo de eliminar solos impróprios para material de construção em terra, devido à possível presença de minerais de argila em quantidades prejudiciais, mistura de solo com constituição imprópria ou ainda desadequadas técnicas de produção dos elementos da construção.

Estes estudos permitiram concluir que à excepção dos adobes e BTC produzidos apenas com terra e que se desintegraram quase instantaneamente no contacto com a água, todos os outros em que à massa é adicionada uma percentagem de estabilizante, não apresentam qualquer manifestação indicadora de má qualidade, estando as misturas automaticamente aceites para a construção.

Da análise das patologias encontradas, concluiu-se que muitas tinham a ver com a má qualidade da cobertura que consiste apenas em chapas de zinco amarradas à alvenaria. Para resolver este problema foi estudada uma solução que para além de permitir o uso dos materiais locais como a madeira de eucalipto e a terra para fabrico de telhas, possibilita ainda solucionar problemas térmicos, acústicos e estéticos bem como estruturais.

7.3 POSSÍVEIS LINHAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Na sequência deste trabalho, podem ainda ser desenvolvidos outros estudos, destacando-se aqui os de maior interesse.

Estudo de novos materiais que possam ser adicionados ao solo natural de Camabatela para reduzir a elevada retracção verificada nos ensaios “in-situ”.

Ainda nesta linha, seria igualmente interessante estudar o fenómeno da retracção para diferentes traços solo natural: areia.

Na análise do comportamento à água seria importante repetir os ensaios de erosão pelo método de Geelong e o ensaio do ciclo húmido/seco em adobes e BTC produzidos apenas com solo de Camabatela ou com alguma mistura do solo com outros materiais potencialmente interessantes.

É também de referir o interesse no estudo de outros materiais, como o limbo das folhas de palmeira, que por apresentarem uma resistência apreciável podem funcionar como estrutura de algumas coberturas de menor envergadura.

Finalmente, fica também aqui uma sugestão para a realização de manuais de formação sobre técnicas construtivas com terra assim como o manuseamento e a construção com madeira. Chama-se a atenção para a simplicidade que devem ter os manuais uma vez que se destinam a um grupo de pessoas que na sua maioria são analfabetas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bruno, P. (2005) – “A Conservação de Paredes de Terra Crua- da análise à intervenção prática”. Houses and Cities Built with Earth. Monsaraz (Portugal).
- Cornelis, k. e Cornelius, J.H.S. (1999) - Manual of Mineralogy. 21st Edition
- Diniz, A.C. e Aguiar, F.B. (1998) – “Zonagem Agro-Ecológica de Angola”. Instituto da Cooperação Portuguesa, Fundação Portugal-África e Fundo da EFTA para o Desenvolvimento Industrial em Portugal.
- E.A., Earth Architectures (2007) – “Cidade de Shibam”.
<http://www.eartharchitecture.org/index.php?/archives/879-Shibam.html>
- EN 1995 (2004) – Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings.
- Fathy, H. (1980) – “Construindo com o povo - Arquitectura para os pobres”. Editora Salamandra, SP.
- Félix, M. e Mello, M. (2007) – “O uso das técnicas tradicionais em terra crua em obras de restauração”. Terra em Seminário, Aveiro.
- Ganduglia, M. (2005) – “Angola...Construir la vida (la tierra en memoria del pueblo)”. IV Seminário Ibero-Americano de construção com terra.
- Greenie (2007) – “Muralha da china”.
<http://coisasverdes.blogs.sapo.pt/3291.html>
- I.V., Itanhaém Virtual (2008) – “Construção com a técnica de pau-a-pique”.
http://www.itanhaemvirtual.com.br/litoralsul_rios_vale_rio_branco.htm

- Mondragón, F.P. e Lourenço, P. (2005) – “Estruturas em Terra: Comportamento e Patologias”. Houses and Cities Built with Earth. Monsaraz (Portugal).
- Morales, R.M.; Cabrejos, R.T. e Rengifo, L.A. (1993) – “Manual para la construcción de viviendas de adobe”.
- NZS 4298:1998, (2000) - New Zealand Standard: Materials and Workmanship for Hearth Buildings.
- O.M., Organização Missanga (2006) – “Projecto de Arquitectura - Estudo prévio (Memória descritiva e justificativa)”. Projecto geral para a construção das novas instalações escolares na Missão Católica da ordem dos Frades Menores Capuchinhos em Camabatela, província do Kwanza Norte, Angola.
- R.S.A., Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (1983) - Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio.
- Redinha, J. (1964) – “A habitação tradicional em Angola - aspectos da sua evolução”.
- Reis, A.C.; Farinha, M.B. e Farinha, J.P.B. (2005) - Tabelas Técnicas.
- Rodrigues, P.F. (2005) – “Construction Conservation: pathologies due to water”. Houses and Cities Built with Earth. Monsaraz (Portugal).
- Rubies, J.E. (2008) – “Construção bandeirante - casa do Butantã”.
http://www.piratiniga.org/casa_do_butanta/sitio_butantan.htm
- Torres, C. (2005) – “A Memória da Terra”. Arquitectura de Terra em Portugal.

- U.N. United Nations (2004) – “Mapa de Angola”.
http://www.un.org/depts/dhl/maplib/maps_pages/wm-africa2.htm
- Varum, H.; Costa, A.; Velosa, A.; Martins, T.; Pereira, H.; Almeida, J. (2005) – “Caracterização Mecânica e Patológica das Construções em Adobe no Distrito de Aveiro como suporte em Intervenções de Reabilitação”. Houses and Cities Built with Earth. Monsaraz (Portugal).
- Deer, W.A.; Howie, R.A. e Zussman, J. (2000). Minerais Constituintes das Rochas - Uma Introdução, 2ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Walker, D.P. - The Australian earth building handbook.